



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**MOŽNOSTI VE VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU**

HEATING OPTIONS OF A HOUSE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Štěpán Vaculík**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Filip Toman**

**BRNO 2021**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Štěpán Vaculík**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Možnosti ve vytápění rodinného domu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Způsoby a možnosti vytápění rodinných domů, jsou v dnešní době velmi rozsáhlé. Od použití jednoho tepelného zdroje po kombinaci zdrojů několika. Pro správný návrh typu a dimenzování tepelného zdroje je nutné znát především tepelné vlastnosti dané stavby a ekonomickou situaci na energetickém trhu. Práce bude zaměřena na výpočet tepelných ztrát vybraného rodinného domu a následné ekonomické posouzení využití různých tepelných zdrojů pro jeho vytápění.

### Cíle bakalářské práce:

- Stručný přehled tepelných zdrojů pro rodinné domy,
- Výpočet tepelných ztrát vybraného objektu,
- Ekonomické zhodnocení možností vytápění vybraného objektu.

### Seznam doporučené literatury:

PETRÁŠ, Dušan, Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga. 2008.Vytápění. ISBN 9788080760694

PAVELEK, Milan, Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 9788021443006

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá tématem možností ve vytápění rodinného domu. Práce je rozdělena na teoretickou část, kde jsou představeny různé druhy zdrojů tepla pro rodinné domy, včetně jejich rozdělení a popisu principu provozu. V druhé praktické části probíhá stanovení tepelných ztrát vybraného domu a s jejich využitím pak návrh spolu s ekonomickým porovnáním ideálních zdrojů tepla.

### **Klíčová slova**

Zdroj tepla, vytápění, tepelné ztráty, rodinný dům

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with the topic of possibilities in heating a family house. The work is divided into a theoretical part, where various types of heat sources for family houses are presented, including their division and a description of the principle of operation. In the second practical part, the heat loss of the selected house is determined. With their use are designed ideal heat sources and comparison is included.

### **Key words**

Heat source, heating, heat loss, family house

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VACULÍK, Štěpán. Možnosti ve vytápění rodinného domu [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131998>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Možnosti ve vytápění rodinného domu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

*Jméno a příjmení*

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Filipovi Tomanovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.



## OBSAH

ÚVOD .....	10
1 Tepelné zdroje.....	11
1.1 Kotle na tuhé paliva.....	11
1.1.1 Tuhé paliva.....	13
1.2 Plynové kotle .....	16
1.3 Elektrické zdroje.....	17
1.3.1 Přímotopné elektrické zdroje .....	18
1.3.2 Akumulační elektrické zdroje .....	19
1.3.3 Tepelná čerpadla .....	19
1.4 Solární vytápění.....	22
2 Výpočet tepelných ztrát.....	24
2.1 Popis objektu.....	24
2.1.1 Parametry objektu .....	24
2.2 Výpočet .....	26
2.2.1 Tepelná ztráta prostupem .....	26
2.2.2 Celková tepelná ztráta prostupem.....	29
2.2.3 Tepelná ztráta větráním .....	29
2.2.4 Celkový tepelný výkon.....	31
2.3 Roční potřeba tepla pro vytápění.....	31
3 Ekonomické zhodnocení možností vytápění.....	33
3.1 Volba zdroje tepla.....	33
3.2 Porovnání nákladů na vytápění.....	37
ZÁVĚR .....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	44
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	46
SEZNAM TABULEK .....	47
SEZNAM PŘÍLOH .....	48

## ÚVOD

Dnešní doba skýtá velké množství technologií, které dokážou vytápět obydlí, byt, či dům a vytvořit tak tepelný komfort spolu s pohodlným prostředím pro jeho uživatele. Která z těchto technologií je však ekonomicky nejvýhodnější pro vytápění rodinného domu? Bude to kotel na uhelná, dřevěná nebo plynná paliva? Elektrokotel nebo se vyplatí použití alternativního zdroje energie, jako je třeba tepelné čerpadlo nebo solární vytápění? Variant je mnoho včetně kombinace více zdrojů najednou. Volba pro každý dům je ale velice individuální a záleží na jeho konstrukci, izolačních schopnostech a samotné poloze domu. Mimo jiné je důležité odhadnout situaci na energetickém trhu a její vývoj do budoucna. Uživatel by se však neměl rozhodovat pouze skrze ekonomickou stránku věci. Důležitá je také pohodlnost, životnost a ekologičnost provozu, dopad na životní prostředí je totiž žhavým tématem současné doby. Nejlevnější volba tak vždy nemusí být tou nejlepší možností.

Za účelem přehledu základních možností vytápění pro rodinné domy se první část této práce věnuje řešerši s rozdělením a popisem principu fungování různých zdrojů tepla. Pozornost je věnována kotlům na tuhá paliva, plynovým kotlům a nejsou opomenuty také elektrické zdroje nebo možnosti solárního vytápění. Popsány jsou i základní výhody a nevýhody jednotlivých typů zdrojů tepla.

Pro správný návrh zdroje tepla je však nutné znát tepelnou ztrátu objektu. Ta se skládá ze ztráty prostupem tepla a ztráty tepla větráním. Jejich hodnota slouží k dimenzování tepelného výkonu zdroje, aby tak byl využit jeho plný potenciál. Této problematice se věnuje druhá část práce, kdy je velikost tepelných ztrát pomocí normy ČSN EN 12831-1 vypočítána. Hlavní výstup tvoří ekonomické srovnání vybraných zdrojů tepla a snaha určení toho nejvýhodnějšího pro daný dům. Do porovnání se zahrnují pořizovací ceny spolu s vypočítanými ročními náklady na provoz v horizontu 20 let.

## 1 Tepelné zdroje

Tepelné zdroje jsou zařízení produkující teplo, které se pak různými způsoby dále rozvádí po objektu s cílem jeho vytápění. Lze je rozdělit na konvenční (kotle na tuhá, kapalná a plynná paliva) a alternativní, využívající zdroje energie ukryté v zemi, vodě, vzduchu nebo ve slunečním záření (tepelná čerpadla, solární vytápění).

### 1.1 Kotle na tuhé paliva

Kotle na tuhá paliva jsou cenově přijatelnou a dostupnou variantou, která se vyznačuje rychlým vytopením celého domu. Nevýhodou ale může být nutnost skladování paliv a nutnost obsluhy [1]. Kotle na tuhá paliva se rozdělují podle mnoha kritérií. Jednou ze zásadních schopností kotle je kontrola řízení spalovacího procesu, což znamená, že si je kotel schopen sám řídit dodání paliva a spalovacího vzduchu do ohniště. S tím rostou předpoklady pro kvalitnější spalování [2].

Prísun spalovacího vzduchu se dělí na [2]:

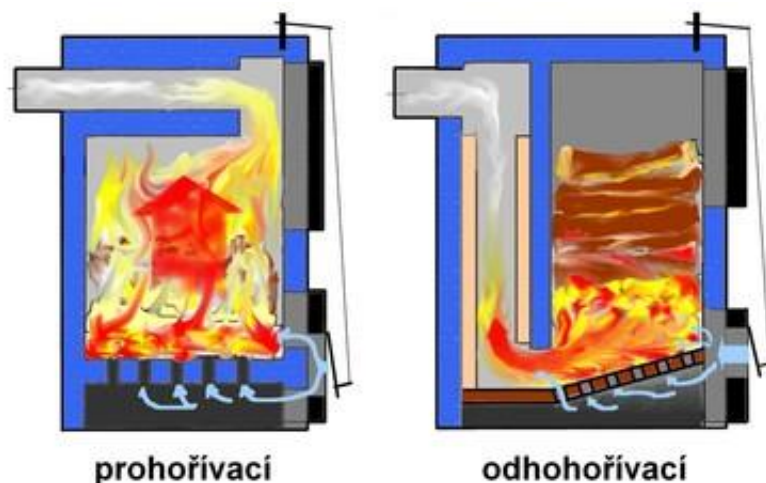
- Přirozený – vzduch je do ohniště nasáván skrz mechanicky ovládané otvory přirozenou cestou. To je způsobeno podtlakem v ohništi, který podléhá jen tahu komína.
- Nucený – o podtlak v ohništi kotle se stará ventilátor, jenž spalovací vzduch do ohniště vhání nebo z něho odhání. Tato varianta umožňuje vyšší kontrolu nad spalovacím procesem.

Dávkování neboli přísun paliva dělíme na [2]:

- Kotel s ruční dodávkou paliva – přísun paliva zajišťuje lidská obsluha v časových úsecích, které ovlivňuje rychlost hoření nebo tepelný výkon kotle.
- Kotel se samočinnou dodávkou paliva – přísun paliva je zautomatizován a řízen v závislosti na tepelném výkonu. Toto dovoluje vyšší úroveň spalování a regulace.

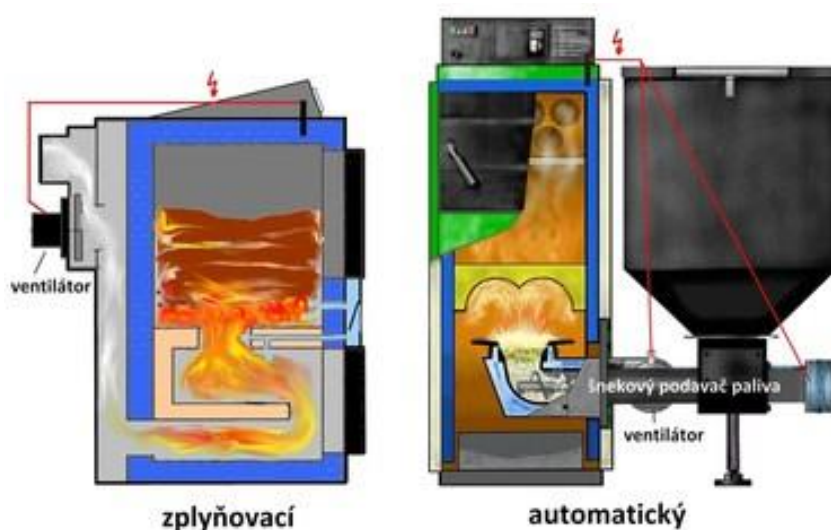
Dále kotle rozdělujeme podle samotné technologie spalování na [2]:

- Kotle prohořivací – vyznačují se postupným spalováním, kdy spaliny procházejí přes vrstvu paliva (obr. 1.1). To způsobuje rychlé zapálení celé vrstvy paliva v palivové šachtě a tím i dochází k samovolnému uvolňování prchavé hořlaviny. Proto tato technologie není vhodná pro regulaci procesu a výkonu hoření. Charakteristické jsou velmi oblíbené litinové prohořivací kotle, jelikož dovolují spalování veškerého materiálu. Vztahuje se ně ale zákon o ochraně ovzduší, který zakazuje jejich použití od roku 2022, pokud nedosáhnou emisní třídy 3. Toho lze docílit pouze u některých konstrukcí při spalování koku (kusové dřevo, černé uhlí a hnědé uhlí to neumožňuje) [2].
- Kotle odhořivací – vyznačují se postupným spalováním paliva v dolní části násypky, které se plynule doplňuje. Na rozdíl od kotlů prohořivacích, spaliny přes vrstvu paliva neprocházejí (obr. 1.1). Další výhodou je větší využití prchavé hořlaviny, kvůli jejímu průchodu oblastí vysokých teplot ve spalovací komoře. Moderní odhořivací kotle běžně dosahují emisní třídy 3 a proto je možné je používat i po roce 2022 [2].



Obr. 1.1 Prohořivací a odhořivací kotel [2].

- Kotle zplyňovací – jsou typem odhořivacího kotle s ručním přikládáním obohaceného o ventilátor, jenž zvyšuje kvalitu spalování kontrolovaným přísunem vzduchu do ohniště (obr. 1.2). Nahrazuje tak do jisté míry tah komínu. Proto regulátor spojený s ventilátorem může usměrňovat výkon a průběh spalování. Způsobuje také, že v menší míře, než u kotlů odhořivacích a prohořivacích, zde dochází k uvolnění prchavé hořlaviny. To vede k jejímu úplnému vyhoření a větší efektivitě. Tyto kotle už obvykle splňují emisní třídu 3 [2].
- Kotle automatické – kotle s automatickou dodávkou paliva, kde přísun spalovacího vzduchu řídí ventilátor (obr. 1.2). Regulátor kotle podle navoleného programu řídí celý proces sám a tím je odstraněna nutnost zásahů obsluhy. Automatické kotle dosahují mezi ostatními kotli největších účinností, což je znázorněno v tab. 1.1. Při použití uhlí jako paliva tato technologie dosahuje emisní třídy 3 a 4 a při vytápění dřevěnými peletami je možno dosáhnout až emisní třídy 5 (tj. nejvyšší emisní třída) [2].



Obr. 1.2 Zplyňovací a automatický kotel [2].

Tab. 1.1 Účinnost kotlů na tuhé paliva [2].

Účinnost [%]				
	Hnědé uhlí	Dřevní pelety	Nedřevní pelety	Kusové dřevo
Automatický	75–85	80–90	75–85	–
Zplyňovací	70–80	–	–	75–85
Odhořivací	60–75	–	–	60–75
Prohořivací	40–60	–	–	55–65

### 1.1.1 Tuhé paliva

Vytápění tuhými palivy patří k nejtradičnějšímu způsobu vytápění. Řadíme do nich:

- Uhelné paliva

Do uhelných paliv, používaných v kotlích pro rodinné domy, patří hnědé uhlí (obr. 1.4), černé uhlí (obr. 1.3) a koks. Jejich výhřevnost a cenu za kilogram srovnává tab. 1.2. Uhlí je hořlavou horninou černé, či hnědé barvy získávané dolováním z povrchových nebo hlubinných vrtů. Jeho složení obsahuje v největším zastoupení uhlík, vodík, kyslík a síra. Kvalitu určuje především obsah uhlíku. Podle tohoto kritéria uhlí rozdělujeme na: lignit (60 % C), hnědé uhlí a černé uhlí (80 % C), antracit (90 % C) [3]. Mezi další parametry kvality patří zrnitost, výhřevnost, obsah vody, obsah síry nebo obsah popela [4].



Obr. 1.3 Černé uhlí [4].



Obr. 1.4 Hnědé uhlí [5].

Pro výrobu koksu používáme proces zvaný pyrolýza neboli koksování. Vstupním materiálem je nízko sirné a nízko popelové černé uhlí, které se za vysokých teplot, přesahujících 1100 °C a bez přístupu vzduchu, zahřívá po dobu 14 až 24 hodin. Uhlí se tak mění na stříbřitě šedý, tvrdý a pórovitý koks, vynikající svou velkou výhřevností. Dále se používá jako redukční činidlo a palivo pro výrobu surového železa, litiny nebo izolačních materiálů [6].

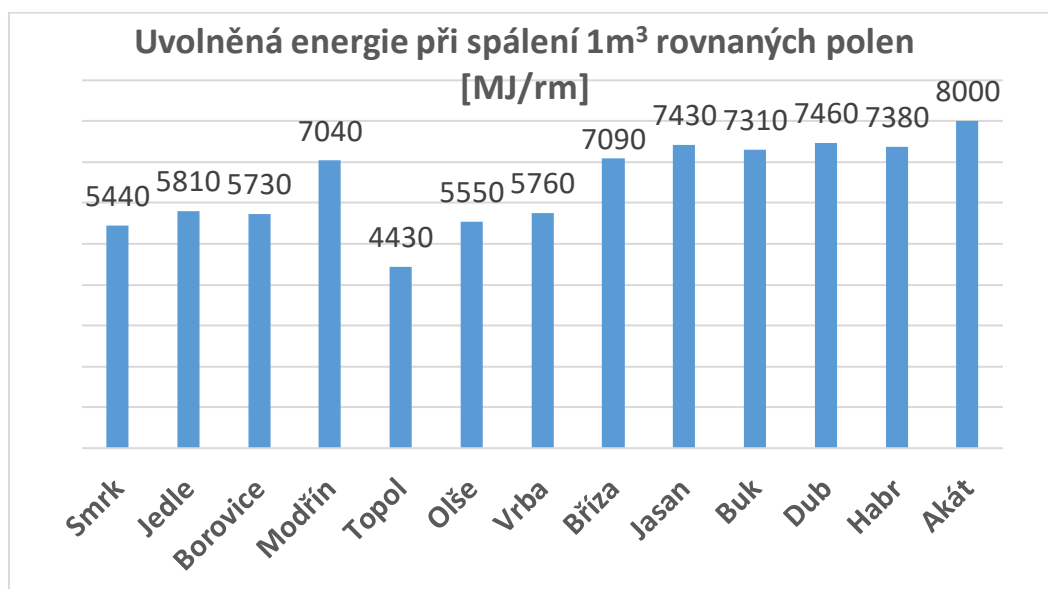
Tab. 1.2 Srovnání uhelných paliv [7].

Materiál	Výhřevnost [MJ/kg]	Cena [kč/kg]
Hnědé uhlí	18,0	3,55
Černé uhlí	23,1	5,10
Koks	27,5	8,50

- Biomasu

Zahrnuje ji všechna organická hmota rostlinného nebo živočišného původu a je součástí tzv. obnovitelných zdrojů. Nejčastěji ji získáváme formou odpadu z lesnictví, zemědělství a průmyslu. Na rozdíl od uhelných paliv, využívání biomasy jako energetického zdroje zatěžuje přírodu a životní prostředí jen velmi málo. Příkladem je tzv. nulová bilance  $\text{CO}_2$  – při spalování se oxid uhličitý uvolňuje jen v takovém množství, v jakém ho rostliny a stromy vyprodukovaly při svém růstu. Nejvíce využívaným palivem je dřevo, které používáme ve formě kusového nebo malých kusů dřeva slisovaných na pelety a brikety [8].

Dřevo rozdělujeme také podle tvrdosti, kde pro vytvoření stabilního a dlouhodobého žáru je využíváno dřevo tvrdé z listnatých stromů, pro zapalování a rychlé oteplení prostoru volíme měkké dřevo z jehličnanů. Různé druhy stromů dle výhřevnosti srovnává obr. 1.5. Důležitou vlastností je vlhkost dřeva, protože má hlavní vliv na jeho výhřevnost. Čím nižší obsah vody ve dřevě je, tím je potřeba méně tepla pro přeměnu vody na vodní páru, a tak je energetická účinnost vyšší. Při těžbě se vlhkost dřeva pohybuje mezi 50 až 60 %, ale pro vytápění má smysl spalovat dřevo jen s vlhkostí pod 30 %. Měkčímu smrkovému dřevu trvá vysušení zhruba rok, tvrdému dřevu z listnatých stromů od dvou až do čtyř let. Výhodou je cena, protože kusové dřevo patří k nejlevnějším druhům paliva využívaných k vytápění. Nevýhodou ale může být vyšší časová náročnost spojená s nutnou obsluhou (přikládání, štípání apod.) [8] [9].



Obr. 1.5 Srovnání výhřevností dřeva [9].

Dalším druhem dřevního paliva jsou pelety (obr. 1.6). Vyrábí se nejen ze dřeva, méně rozšířené jsou i pelety ze slámy, sena nebo zemědělských zbytků. Vznikají bez jakýchkoliv škodlivých příměsí lisováním dřevěné piliny pod tlakem a za vysokých teplot většinou do tvaru granulí kruhového průřezu. Jejich normalizovaný průměr 6 až 8 mm a délka 20 – 30 mm dovoluje komfortní automatické přikládání, kdy dopravník úzkou hadicí dostane palivo až do topeniště. Pelety vynikají vysokou energetickou hustotou, dobrými palivářskými vlastnostmi a z pohledu komfortnosti obsluhy spojené s dopravou jsou skvělou volbou [10].



Obr. 1.6 Dřevěné pelety [10].

Stejně jako pelety jsou brikety (obr. 1.7) ušlechtilé palivo vyráběné z dřevní biomasy. Jsou produkovány z odpadních materiálů jako jsou hobliny, piliny, drtě, kůry apod. do tvarů válců, válců s dírami nebo kvádrů. Vysoká výhřevnost je spojená s jejich nízkou vlhkostí. Brikety jsou velice univerzálním palivem, jelikož se mohou použít ve více zdrojích tepla (v kotli, kamnech nebo i krbu) [8]. Největšího výkonu ale docílí v dřevoplynových kotlích [11]. Kusové dřevo, pelety a brikety srovnává tab. 1.3. z hlediska výhřevnosti a ceny.



Obr. 1.7 Dřevěné brikety [8].

Tab. 1.3 Srovnání dřevěných paliv [7].

Palivo	Výhřevnost [MJ/kg]	Cena [Kč/Kg]
Dřevo (obs. vody 20 %)	14,6	3,0
Pelety	17,0	5,2
Brikety	17,0	4,8



## 1.2 Plynové kotle

Mezi výhody plynového vytápění patří komfortnost bezpečného a plně automatického provozu, relativně nízká cena pořizovacích i ročních nákladů a dobrá regulovatelnost výkonu zdroje. Do nevýhod můžeme zařadit náklady na každoroční revize a nutnost plynové přípojky spolu s vhodným komínem [12]. Jako palivo je používán zemní plyn nebo zkapalněné plyny (propan, butan, zemní plyn), u kterých je nutné vybudovat zásobník. Ten sice dovoluje použití plynového vytápění i v místech, kde třeba není možnost distribuce zemního plynu klasickou plynovodní sítí, je ale nutné počítat s řadou komplikací [13]. Plná cisterna s palivem může vážit až 8 tun, a proto je nutné vybudovat vhodné základy, pozemek musí být oplocený a povinné jsou také revize, jelikož je zásobník tlakovou nádobou [14].

Provoz plynového kotle je velmi ekologický – na rozdíl od vytápění uhelnými palivy totiž spalováním zemního plynu vzniká jen velmi malé množství škodlivin (viz. tab. 1.4) [15].

Tab. 1.4 Srovnání vzniku škodlivin spalováním v mg/MJ [15].

Škodlivina	Zemní plyn	Koks	Hnědé uhlí
Popílek	0,6	309,2	608,4
Oxid siřičitý	0,3	398,9	1129,4
Oxid uhelnatý	9,4	1717,6	3416,9
Uhlovodíky	3,8	381,7	699,3

Kotle dělíme podle způsobu provozu na [16]:

- Kotel klasický

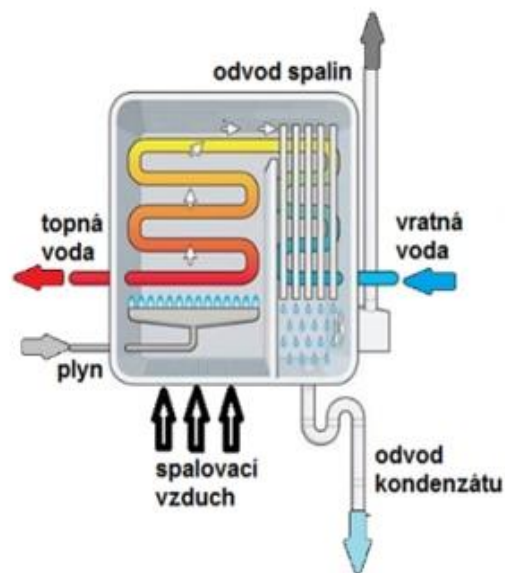
Pracuje se suchými spaliny. Platí zde podmínka, kde teplota vstupní vody nesmí klesnout pod 60 °C. Účinnost je zhruba do 88 %. Teplota vody v kotli je konstantní po většinu topné sezóny [16].

- Kotel nízkoteplotní

Pracuje se suchými spaliny. Teplota vstupní vody u tohoto typu může být i v rozmezí 35 až 40 °C a může docházet i ke kondenzaci. Účinnost dosahuje cca 92 %. Teplota vody v kotli je proměnná v průběhu otopného období [16].

- Kotel kondenzační

Oproti předchozím typům kotlů využívá principu kondenzace vodní páry. Ta je součástí spalin, vznikajících při spalování plynu. Vratná voda, která již předala pomocí otopného systému své teplo, se vrací do kotle a ve výměníku ochlazuje vodní páru, čímž kondenzuje. Vodní pára tímto předá své teplo vratné vodě a dochází k jejímu přehřevu. Kotel pak vodu už musí jen dohřát na požadovanou teplotu. Platí, že pro nejlepší využití kondenzace by se teplota vratné vody měla pohybovat s teplotou co nejnižší, ideálně kolem 35 °C. Tento proces, znázorněný na obr. 1.8, má za následek nižší spotřebu plynu a využitím odpadního tepla kondenzační kotel dosahuje účinnosti až 98 % [17]. U kondenzační techniky



Obr. 1.8 Schéma  
kondenzačního kotle [14].



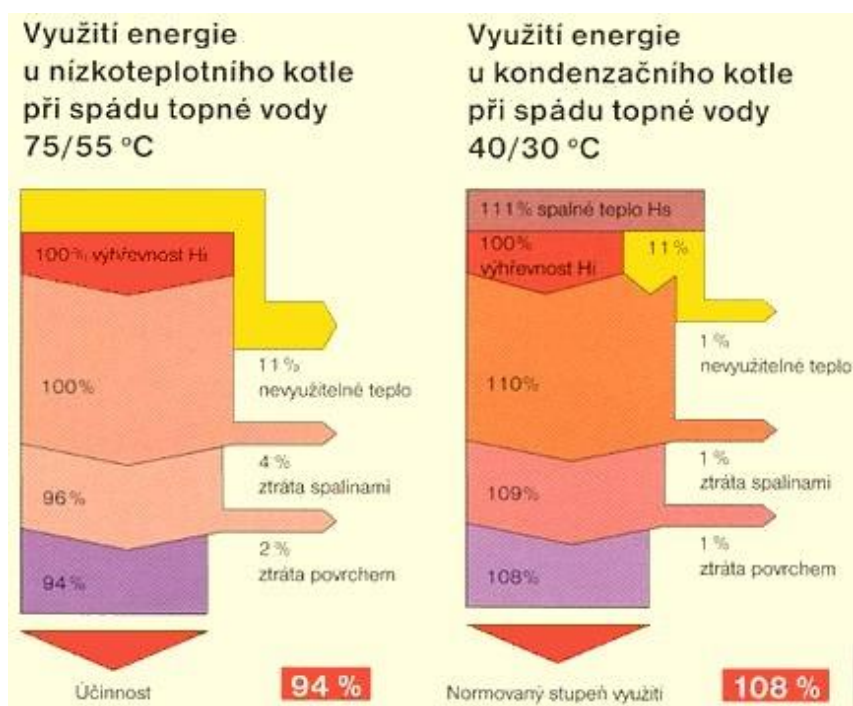
se zavedl parametr zvaný normovaný stupeň využití, který zde dosahuje až 108 %, jelikož vychází ze spalného tepla  $H_s$ . Hodí se poznamenat, že v komerčních prospektech se normovaný stupeň využití často nesprávně zaměňuje za účinnost. Porovnání využití energie u nízkoteplotního a kondenzačního kotle popisuje obr. 1.9 [18]. Je vhodné uvést definice spalného tepla plynu a výhřevnost.

### Spalné teplo plynu $H_s$ [kWh/m<sup>3</sup>]

Je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství plynu a stechiometrického množství kyslíku (o počátečních teplotách 25 °C) při ochlazení spalin zpět na teplotu 25 °C. Jde tedy o veškeré množství tepla vzniklé spálením jednotkového množství paliva a zahrnuje i ve vodní páře vázané, tzv. latentní teplo [18].

### Výhřevnost plynu $H_i$ [kWh/m<sup>3</sup>]

Výhřevnost plynu je rovna spalnému teplu, zmenšenému o teplo uvolněné kondenzací vodní páry ze spalin. Výhřevnost plynu tedy latentní teplo neuvažuje. Účinnost spalovacích zařízení se určuje právě z výhřevnosti [18].



Obr. 1.9 Využití energie nízkoteplotního a kondenzačního kotle [18].

### 1.3 Elektrické zdroje

Vytápění elektřinou má v dnešní době bohaté zastoupení. Je ale vhodné pouze pro určité typy objektů, jako jsou například nízkoenergetické a pasivní domy. To jsou objekty s nízkou tepelnou ztrátou a energetickou náročností. Často také slouží jako doplňkový zdroj tepla, například v kombinaci se solárními panely, které při nižším slunečním svitu nedosahují potřebného tepelného výkonu. Dále mohou fungovat jako protínámrazová ochrana nepravidelně obydlených objektů [19].

Oproti jiným zdrojům tepla je největším pozitivem elektrického vytápění nízká pořizovací cena zdrojů. Jedinou výjimku tvoří tepelné čerpadlo, jehož investiční náklady jsou naopak nejvyšší. Zde je ale tento nedostatek kompenzován nízkými provozními náklady. Velkou výhodou tvoří nepotřebnost komína, přípojky na plyn nebo místa na skladování paliva.

S nadsázkou lze říct, že pro provoz stačí mít ke zdroji pouze dobře dimenzovanou elektrickou síť vytápěného objektu nebo otopnou soustavu při použití centrálního zdroje. Elektrické vytápění vyniká možností dobré regulace a to hlavně u lokálních topidel. U nich je provoz také velmi pohodlný, protože nevyžadují žádnou údržbu a životnost dosahuje vysokých hodnot. To úplně neplatí u tepelných čerpadel nebo topidel s ventilátory a oběhovými čerpadly, kde záleží na životnosti dílčích komponent přístroje [20].

Problematickou otázkou a širokým tématem vytápění elektrickou energií je ekologičnost provozu. Hodnocení této oblasti se stanovuje pomocí výpočtu energetické náročnosti budov, ve které je zahrnuto i kritérium neobnovitelné primární energie (NPE). To ovlivňuje faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů, přezdívaný také jako konverzní faktor, kterým se jednotlivé složky energií násobí a tím pak vzniká hodnota celkového množství primární energie [21]. Hodnoty těchto faktorů (tab. 1.5) určuje a celkově tuto problematiku popisuje vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, platící od 1. 9. 2020 [22].

Tab. 1.5 Faktory primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [22].

Energonositel	Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [-]
Zemní plyn	1,0
Tuhá fosilní paliva	1,0
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Dřevěné pelety	0,2
<b>Elektrina</b>	<b>2,6</b>
<b>Energie okolního prostředí (elektrina a teplo)</b>	<b>0</b>

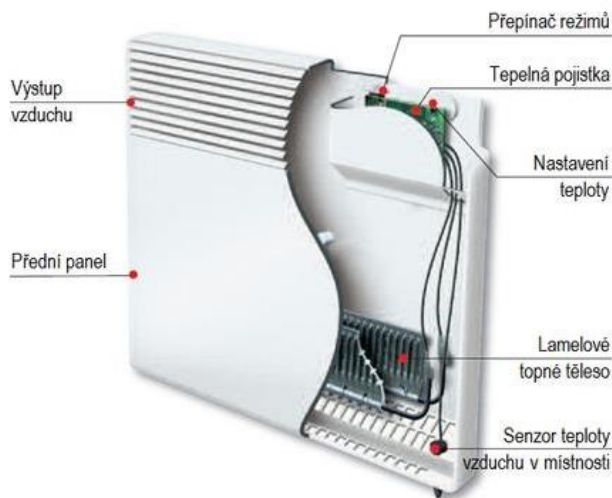
Jak můžeme v tab. 1.5 vidět, konverzní faktor v ČR dosahuje u elektřiny hodnoty 2,6 a to znamená, že jsou v kritériu NPE velice špatně hodnoceny rodinné domy využívající přímotopné nebo akumulární elektrické zdroje. Aby bylo toto kritérium u těchto případů splněno a bylo možné získat průkaz o energetické náročnosti budov (PENB) s vyhovujícím výsledkem, tak je nutné podniknout kroky vedoucí ke zmenšení spotřeby elektrické energie pro vytápění. Dosáhnout se toho může vícero způsoby, kde těmi hlavními jsou zlepšení kvality obálky domu anebo přidání dalšího tepelného zdroje využívající jako palivo obnovitelné zdroje energie. Můžou to tak být třeba kotle na biomasu nebo se dá využít sluneční energie skrz solární panely. Naopak tepelná čerpadla využívají faktor s hodnotou 0, což je velmi výhodné a domy, jenž je využívají tento problém nemusí řešit. Vše zmíněné ale platí pouze pro novostavby, kde pro obdržení stavebního povolení je potřeba právě vyhovující PENB. V případech, kdy se vyměňuje jen zdroj tepla domu, se nic nekontroluje [21] [22].

Zdroje, využívající elektrické energie se dělí na elektrické přímotopné zdroje, elektrické akumulární zdroje a tepelná čerpadla. Podle dalšího rozdělení jsou to pak lokální a centrální zdroje tepla [23].

### 1.3.1 Přímotopné elektrické zdroje

Jsou charakteristické tím, že ihned teplo produkují a odevzdávají okolí. Vzduch uvnitř objektu je tak okamžitě oteplován podle potřeby. Do přímotopů řadíme sálavé panely, přímotopné konvektory (obr. 1.10), infrazářiče a také topné podlahové fólie, kde se všechny tyto zdroje nacházejí rovnou ve vytápěné místnosti. Při použití klasické otopné soustavy je pak jako elektrický zdroj využít elektrokotel, ohřívající topnou vodu, nebo přímotopný vzduchový ohříváč. Tyto zdroje, spolu s ostatními spotřebiči napojených na stejnou přípojku, mohou

využívat speciální dvoutarifové sazby D35d a D45d [23]. Ty dovolují čerpat elektrickou energii nízkým tarifem až po 16 (D35d) a 20 (D45d) hodin [20].



Obr. 1.10 Přímotopný konvektor [24].



Obr. 1.11 Podlahové topné rohože [25].

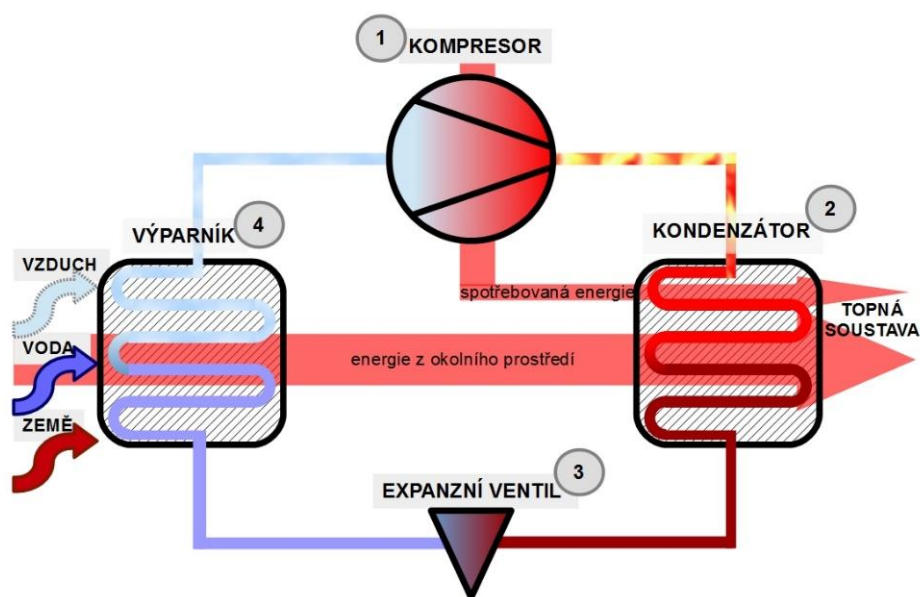
### 1.3.2 Akumulační elektrické zdroje

Jak již z názvu vyplývá, tyto prostředky využívají princip akumulace, tedy uchovávání vyrobeného tepla do akumulátoru. Tato energie se vyrobí při čerpání za nízkého tarifu a využita je až při energetické špičce. Pro účely akumulace jsou využívány teplovodní zásobníky, betonové vrstvy podlahy nebo např. magnezitové cihly. Tyto zdroje se nacházejí opět buď ve vytápěné místnosti, kdy jsou používány akumulární kamna, podmítkové topné folie a topné podlahové rohože (obr. 1.11) nebo akumulární zásobník teplé vody při aplikaci otopné soustavy. Akumulační elektrické zdroje mohou využívat dvoutarifové sazby D25d, D26d a D35d a stejně jako přímotopné zdroje obsahují panel HDO (hromadné dálkové ovládání). Ten ukazuje okraje doby trvání čerpání při nižším tarifu a tento proces řídí [23] [20].

### 1.3.3 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou zařízení patřící mezi alternativní zdroje energie, které jsou schopny převzít tepelnou energii z prostředí s nízkou teplotou a předat ji do teplonosné látky s teplotou vyšší. Pro tento proces je nutné dodat určité množství elektrické energie. Tepelná čerpadla mohou být zdrojem jak tepla, tak i chladu. Základními komponenty jsou expanzní ventil, výparník, kompresor a kondenzátor [26] [27].

Funkce tepelného čerpadla je založena na principu chladicího okruhu. Kompresorem stlačená a kondenzátorem ochlazená pracovní látka pomocí expanzního ventilu sníží tlak s teplotou a ve výparníku se při nízké teplotě vypařuje. Přes stěnu výparníku se tak odebírá tepelná energie okolnímu prostředí – vodě, zemi nebo vzduchu. Páry pracovní látky s nízkým tlakem jsou nasávány do kompresoru, kde dochází k jejich stlačení na vysoký tlak a zvýšení teploty. Dále je látka přivedena do kondenzátoru, kde se přes stěnu tepelná energie přesunuje do otopné soustavy – otopné vody nebo vzduchu. Pracovní látka předáním tepla kondenzuje a v kapalném skupenství opět putuje skrz expanzní ventil. Celý proces se dále opakuje (viz. obr. 1.12) [26].



Obr. 1.12 Schéma tepelného čerpadla [28].

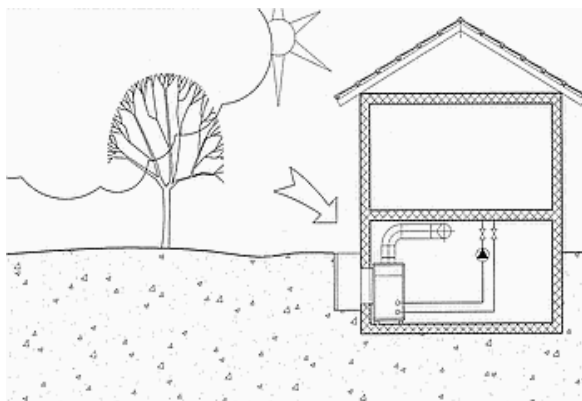
Tepelná energie je nejčastěji čerpána ze vzduchu, země nebo vody. Další, méně používanou variantou zdroje tepla, může být odpadní voda či vzduch nebo prameny teplé podzemní vody [29]. Základní varianty jsou vidět na obr. 1.13 – 1.15.

#### • Vzduch – voda

Výhodou tohoto typu je, že nejsou potřeba žádné zásahy do okolního prostředí (vrty, výkopové práce apod.) a s tím spojené další náklady. Pořizovací cena je ale vyšší. Problémem může být také klesající výkon čerpadla s venkovní teplotou. To má za následek vyšší spotřebu elektrické energie a mírně vyšší provozní náklady. Další nevýhodou jsou vznikající emise hluku [29].

Typ tepelného čerpadla vzduch – voda se vyrábí ve třech provedeních [29]:

1. Splitové provedení – samostatná venkovní a vnitřní jednotka je propojena izolovaným potrubím, v němž proudí pracovní látka. Vnější jednotka má za úkol tepelnou výměnu s okolním vzduchem a vnitřní jednotka je napojena na otopnou soustavu.
2. Kompaktní provedení venkovní – tepelné čerpadlo je celé umístěno mimo vnitřní prostor. S otopnou soustavou je čerpadlo propojené izolovaným potrubím, kterým proudí otopná voda.
3. Kompaktní provedení vnitřní – tepelné čerpadlo je celé umístěno vně vnitřních prostor. K čerpadlu je tak pomocí sacího potrubí vzduch přiváděn a ochlazený vzduch pomocí výfukového potrubí odváděn. Toto provedení je sice levnější, ale to za cenu zabránění vnitřního prostoru.

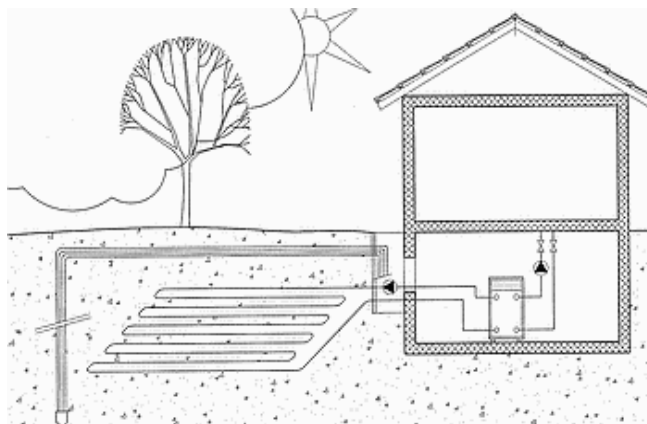


Obr. 1.13 TČ vzduch - voda [29].

- **Země – voda**

Tento typ tepelného čerpadla využívá tepelnou energii ze země a čerpá ji pomocí zemního plošného kolektoru nebo hloubkových vrtů [29].

Zemní plošný kolektor, plastová trubka, uvnitř které proudí nemrznoucí kapalina, má rozteč okolo 1 m a nachází se v hloubce od 1 až do 1,8 m. Je tedy nutné provést skrývku poměrně velké plochy nebo bagrování dlouhých výkopů. Vhodné jsou půdy obsahující větší množství vody. Oproti vrtům je kolektor levnější varianta, vyžaduje však velký pozemek, na kterém se nesmí stavět (pro tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW přibližně 250 – 350 m<sup>2</sup>). V zimních obdobích kvůli promrzání kolektoru hrozí snižování výkonu [29].



Obr. 1.14 TČ země - voda [29].

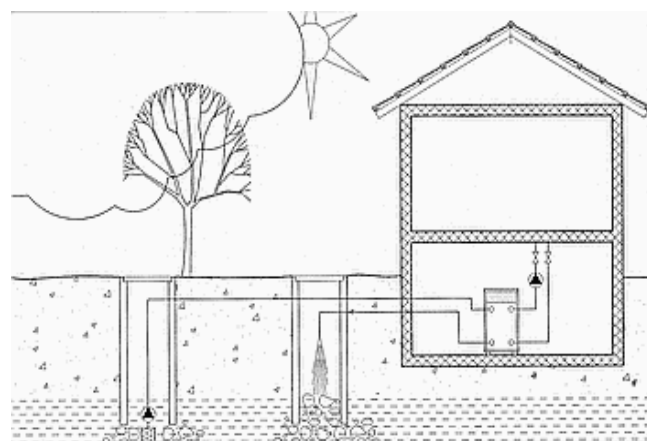
Hloubkové vrty pro tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW dosahují délky 120 až 180 m. Výhodou je stabilní teplota zdroje tepla po celý rok. Proto spotřeba elektrické energie není ovlivňována venkovní teplotou, a to má spojitost s nízkými provozními náklady. Na pořizovací ceně se nicméně promítnou drahé vrty [29].

- **Voda – voda**

Další variantou provedení tepelného čerpadla je typ, kdy se tepelná energie čerpá z vody – povrchové (rybníky, řeka) nebo hlubinné (studna) [29].

Pro vodu z povrchových zdrojů se využívá kolektor z plastových trubek, umístěn většinou na dno. Je také možné vodu k čerpadlu přivádět a ochlazenou ji pak vypouštět zpět. Problémem zůstává omezené množství těchto zdrojů s dostatkem povrchové vody [29].

Využití vody ze studny závisí na vydatnosti a kvalitě zdroje. Vody musí být dostatek a měla by mít vhodné složení, aby nedocházelo k zanášení výměníku. Čerpá se pomocí klasických ponorných čerpadel a po ochlazení v tepelném čerpadle se vrací zpět. Pro tento účel je nutno vybudovat vsakovací studnu, a to v dostatečné vzdálenosti od studny sací, z důvodu možného prosakování ochlazené vody. Venkovní část je závislá na pravidelné údržbě (např. čištění filtrů) [29].



Obr. 1.15 TČ voda - voda [29].

Důležitým parametrem tepelného čerpadla je tzv. topný faktor, bezrozměrná veličina značená COP (coefficient of performance). Popisuje efektivitu čerpadla, udávajíc poměr získané tepelné energie a spotřebované elektrické energie (rov. 1.1). Většinou se pohybuje od hodnot 2,5 do 5. Například hodnota 3 vypovídá o tom, že se získaly 3 kWh tepelné energie při spotřebované 1 kWh elektrické energie. Avšak okamžitá hodnota COP se stále mění, a proto se pro celkové hodnocení tepelného čerpadla používá tzv. sezónní (seasonal) topný faktor (SCOP). Ten bere



v potaz průměrné výsledky za celou topnou sezónu. Hodnotu topného faktoru zvyšuje použití co nejvyšší teploty nízkoteplotního zdroje, ze kterého je teplo odebíráno, a poté nejnižší teplota teplonosné látky v topné soustavě [30].

$$COP = \frac{\phi}{P_C + P_{aux}}, \quad (1.1)$$

kde je [31]:

- $\phi$  ..... tepelný výkon tepelného čerpadla [kW],  
 $P_C$  ..... elektrický příkon kompresoru [kW],  
 $P_{aux}$  ..... elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru, odtávání výparníku a vlastní regulaci tepelného čerpadla [kW].

#### 1.4 Solární vytápění

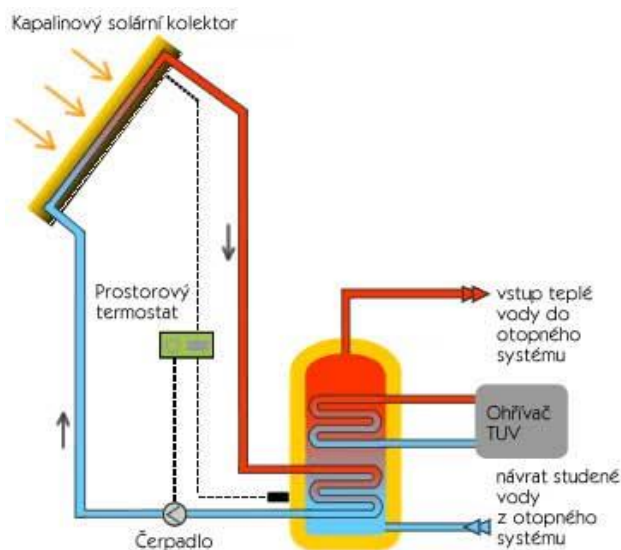
Pro budovy s nízkou potřebou tepla pro vytápění (energeticky pasivní domy, nízkoenergetické domy) se stále více hodí aplikace solárního vytápění neboli tzv. solární kombinované soustavy, umožňující přípravu teplé vody a vytápění. Nicméně potřebné dodávky tepla se společně se solárním ziskem v průběhu roku mění, a proto solární energie stačí pokrýt jen část celkové roční spotřeby tepla (15 - 35 %). Tuto technologii je tedy vhodné využít s návazností na jiný druh vytápění [32].

Pro efektivní provoz solárních kombinovaných soustav je potřeba dostatečná tepelná izolace domu včetně kvalitních oken v kombinaci s nízkoteplotní otopnou soustavou (např. velkoplošné sálavé vytápění). Efektivitu dále zvyšuje vhodný sklon a jižní orientace kolektoru v nezastíněném prostředí [32].

Solární vytápění podle použité technologie přeměny solární energie na teplo a jeho distribuce dělíme na tři druhy [33]:

- **Solární vytápění kapalinové**

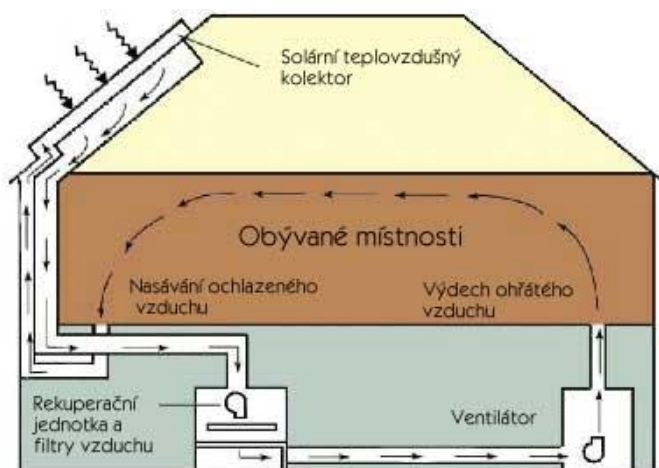
Nejrozšířenějším způsobem ohřevu vody a vytápění je použití kapalinových solárních kolektorů (viz. obr. 1.16). Jsou to zařízení plochého tvaru, skládající se ze systému trubek zakrytých průsvitným či průhledným sklem. V těchto trubkách proudí voda, která se v závislosti na konstrukci, rychlosti průtoku, plochy kolektoru a intenzitě slunečního svitu ohřeje v jednom průtoku o zhruba 5 až 80 °C. Pokud je to potřebné, lze zvolit pro dostatečný ohřev vody vyšší počet průtoků solárním kolektorem [33].



Obr. 1.16 Kapalinové solární vytápění [33].

- **Solární vytápění teplovzdušné**

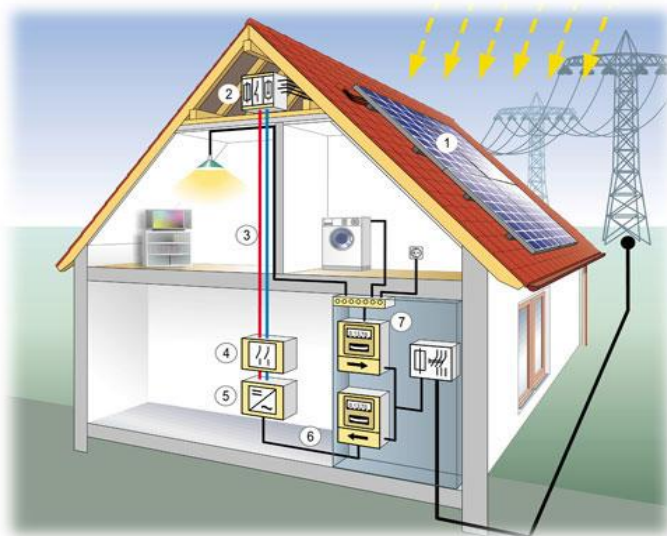
Hlavní jednotkou jsou teplovzdušné solární kolektory. Konstrukcí se neliší od kolektorů kapalinových, ale jak už z názvu vyplývá, trubky jsou naplněny vzduchem. Díky slunečnímu záření se vzduch ohřeje a pomocí ventilátoru je vháněn do teplovzdušného systému vytápění domu (viz. obr. 1.17). Obvykle dochází k propojení s rekuperační jednotkou, která zajišťuje jak vytápění, tak i klimatizaci s ventilací. Nevýhodou této technologie je absence možnosti ohřevu užitkové vody, což musí být nahrazeno jiným samostatným řešením [33].



Obr. 1.17 Teplovzdušné solární vytápění [33].

- **Fotovoltaické solární systémy**

Tuto technologii zajišťují fotovoltaické solární panely. Oproti kolektorům teplovzdušným a kapalinovým nejsou tvořeny systémem trubek s teplosnosným médiem, ale skládají se z fotovoltaických článků. Ty dokážou solární energii transformovat na energii elektrickou, která se dále používá k napájení elektro soustavy domu, eventuálně elektrických přímotopů (obr. 1.18). Nicméně dochází k velkým energetickým ztrátám díky její dvojí přeměně (záření – elektrina – teplo). Elektrickou energii lze přesouvat na velké vzdálenosti tudíž mohou být fotovoltaické panely umístěny daleko od vytápěného domu. Často jsou tak rozlehlé volné plochy využity těmito panely k výrobě tepla nebo elektřiny k další distribuci [33].



Obr. 1.18 Fotovoltaické solární vytápění [33].

## 2 Výpočet tepelných ztrát

Pro výpočet je využito normy ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, modul M3-3 ze září 2018. Konkrétně bude použita základní metoda pro výpočet návrhového tepelného výkonu pro místnosti  $\phi_{HL,i}$  [34]. Kompletní zpracování výpočtů se nachází v příloze B.

### 2.1 Popis objektu

Pro účel výpočtu tepelných ztrát a návrhu zdroje vytápění byl zvolen dům, který je situován v Uherském Hradišti, Mařaticích. Jedná se o rodinný dům přízemní s obytným podkrovím a celkově podsklepený. Byl postaven mým dědem mezi lety 1954 až 1960, kdy proběhla kolaudace. V průběhu let došlo k úpravám jako výměna oken a vstupních dveří v roce 2007 nebo zateplení fasády (14 cm EPS) v roce 2010.

První nadzemní podlaží je rozděleno do těchto místností: veranda, předsíň, WC, koupelna, hala, kuchyň s jídelnou, ložnice, obývací pokoj. Do podkroví pak vede schodiště a skládá se z koupelny, chodby, šatny a dvou pokojů. V prvním podzemním podlaží se nachází sklepní prostory, které jsou nevytápěné. Součástí dvorního prostoru za domem je také samostatně stojící garáž. Projektová dokumentace tohoto rodinného domu se nachází v příloze A. Čelní pohled na dům lze vidět na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Zvolený dům pro výpočet.

#### 2.1.1 Parametry objektu

Pro další postup výpočtů je nutné znát parametry domu, tedy hlavně jeho jednotlivých vytápěných místností (tab 2.1). Mezi potřebné hodnoty patří vnitřní výpočtová teplota místností  $\theta_{int,i}$ , plocha stavebních částí  $A_k$  a objem místností  $V_i$  [34].



Tab. 2.1 Základní parametry objektu.

Č.M	Název místnosti	$\theta_{\text{int},i}$ [°C]	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$V_i$ [m <sup>3</sup> ]
1.01	Schodiště	10	2,4	2,3
1.02	Veranda	5	10,2	27,0
1.03	WC	24	1,3	3,4
1.04	Předsín	20	2,1	5,3
1.05	Hala	20	10,5	31,2
1.06	Schodiště	20	4,0	8,5
1.07	Obývací pokoj	20	20,4	54,0
1.08	Ložnice	20	17,2	45,6
1.09	Koupelna	24	5,2	13,3
1.10	Kuchyň + jídelna	20	14,0	37,1
2.01	Chodba	20	4,7	10,6
2.02	Koupelna	24	7,0	8,5
2.03(4)	Pokoj + šatna	20	24,1	41,0
2.05	Pokoj	20	34,6	58,2
<b>Σ</b>			<b>157,7</b>	<b>346</b>

Klíčovým parametrem je součinitel prostupu tepla  $U$ . Jeho hodnota udává množství tepla, které uniklo z objektu s plochou 1 m<sup>2</sup> a rozdílem teplot jeho povrchů 1 K. Rovná se převrácené hodnotě odporu  $R_T$  konstrukce při prostupu tepla. Ten je tvořen ze součtu samotného odporu materiálu  $R$  a odporů při přestupu tepla na vnitřní ( $R_{si}$ ) a vnější ( $R_{se}$ ) straně konstrukce (viz. rov. 2.1). Velikost odporu  $R$  přímo úměrně závisí na tloušťce vrstvy materiálu  $d$  a neúměrně na součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda$  (rov. 2.2) [35]. Tab. 2.2 ukazuje příklad výpočtu součinitele prostupu tepla  $U$  pro podlahu v přízemí, tab. 2.3 pak shrnuje tyto hodnoty pro všechny důležité části domu, které jsou potřebné pro další výpočty.

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right], \quad (2.1)$$

$$R = \frac{d}{\lambda} \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]. \quad (2.2)$$

Tab. 2.2 Výpočet součinitele prostupu tepla  $U$  pro podlahu (přízemí).

Materiál	$R_{si}$ [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	Vlasy	Cement. potěr	Izolace fibrex	Železobet. strop	$R_{se}$ [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	$U$
$d$ [m]	0,17	0,01	0,04	0,02	0,08	0,04	1,18
$\lambda$ [W/mK]		0,18	1,20	0,04	1,58		

Tab. 2.3 Hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$ .

Část domu	součinitel prostupu tepla $U$ [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]
Obvodová stěna	0,23
Příčka	2,43
Stěna nosná	1,70
Podlaha (přízemí)	1,18
Strop (přízemí)	0,89
Podlaha (patro)	0,83
Střecha	0,23
Vnitřní dveře	2,00
Vnější dveře	1,30
Okna (přízemí)	1,20
Okna – velux (patro)	1,80

Pro správné určení tepelného výkonu je dále potřeba znát klimatické údaje. Mezi tyto údaje patří počet dnů otopného období  $d$ , venkovní výpočtová teplota  $\theta_e$  a průměrná venkovní teplota za otopné období  $\theta_{e,m}$  [34]. Normované hodnoty pro Uherské Hradiště s referenční výškou 181 m n. m. a se začátkem a koncem otopného období při teplotě 13 °C jsou uvedeny v tab. 2.4.

Tab. 2.4 Klimatické podmínky [34].

Klimatické údaje	Značka	Hodnota	Jednotka
Délka otopného období	$d$	233	[den]
Venkovní výpočtová teplota	$\theta_e$	-12	[°C]
Průměrná venkovní teplota	$\theta_{e,m}$	3,6	[°C]

## 2.2 Výpočet

### 2.2.1 Tepelná ztráta prostupem

Ztráta tepla prostupem vytápěného prostoru  $\phi_{T,i}$  se řídí podle rov. 2.3. a skládá se ze součtu měrných tepelných toků prostupem násobeným rozdílem teplot, způsobujících tyto tepelné ztráty [34].

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e). \quad (2.3)$$

#### Měrný tepelný tok $H_{T,ie}$ [W/K]

Vyjadřuje měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e) [34]. Je stanoven dle rov. 2.4. Příklad výpočtu pro ložnici shrnuje tab. 2.5.

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}], \quad (2.4)$$

kde je:

$A_k$	.....	plocha stavební části	$[m^2]$ ,
$U_k$	.....	součinitel prostupu tepla stavební části	$[W/(m^2 \cdot K)]$ ,
$\Delta U_{TB}$	.....	přirážka na vliv tepelných vazeb	$[W/(m^2 \cdot K)]$ ,
$f_{U,k}$	.....	opravný činitel zohledňující vliv vlastností	$[-]$ ,
$f_{ie,k}$	.....	teplotní opravný činitel	$[-]$ .

Z důvodu zanedbání ztrát tepelnými mosty je nutno počítat s přirážkou na vliv tepelných vazeb  $\Delta U_{TB}$ . Podle normy byla zvolena hodnota  $\Delta U_{TB} = 0,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  [34].

Opravný činitel  $f_{U,k}$  zohledňuje vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných hodnot součinitele prostupu tepla  $U$ . Protože nejsou známy žádné národní údaje, bylo postupováno podle pokynů normy a zvoleno  $f_{U,k} = 1$  [34].

Teplotní opravný činitel  $f_{ie(...),k}$  se stanovuje podle následující rov. 2.5 [34].

$$f_{ie(...),k} = f_1 + f_2, \quad (2.5)$$

$$f_1 = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (2.6)$$

$$f_2 = \frac{\theta_{int,k}^* - \theta_{int,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (2.7)$$

kde:

$f_1$	.....	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí a venkovní výpočtovou teplotou. Dále se řídí rov. 2.6, kde $\theta_{int,i}$ je vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru a $\theta_e$ je venkovní výpočtová teplota. $\theta_x$ vyjadřuje teplotu sousedního prostoru nebo prostředí (x),
$f_2$	.....	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru a průměrnou povrchovou teplotou stavební části. Dále se řídí rov. 2.7, kde $\theta_{int,k}^*$ je průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části.

Dle normy  $f_1 = 1$ , jelikož se jedná o tepelnou ztrátu do venkovního prostředí ( $\theta_x = \theta_e$ ). Hodnota  $f_2 = 0$ , protože výška místností dosahuje méně jak 4 metry [34]. V součtu je pak uvažována hodnota  $f_{ie,k} = 1$ .

Tab. 2.5 Příklad výpočtu měrného tepelného toku  $H_{T,ie}$  pro ložnici.

Název části	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$U_k + \Delta U_{TB}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$f_{U,k}$ [-]	$f_{ie,k}$ [-]	$H_{T,ie}$ [W/K]
Obvodová zeď	8,42	0,33	1	1	2,8
Okna	2,97	1,30	1	1	3,86
<b>Σ</b>					<b>6,66</b>

**Měrný tepelný tok  $H_{T,ia}$  [W/K]**

Vyjadřuje měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního vytápěného prostoru (a). Určuje se podle rov. 2.8 [34].

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}]. \quad (2.8)$$

Rov. používá teplotní opravný činitel  $f_{ia,k}$ , který se řídí podle rovnic 2.5. Ukázkový výpočet je proveden na koupelně v přízemí v tab. 2.6.

Tab. 2.6 Příklad výpočtu měrného tepelného toku  $H_{T,ia}$  koupelnou (přízemí).

Název části	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$U_k$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$f_{ia,k}$ [-]	$H_{T,ie}$ [W/K]
Příčka	15,71	2,43	0,11	4,20
Dveře	1,57	2,00	0,11	0,35
Strop	5,24	0,89	0,11	0,51
<b>Σ</b>				<b>5,06</b>

**Měrný tepelný tok  $H_{T,iae}$  [W/K]**

Určuje velikost měrného tepelného toku prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) přes sousední nevytápěný prostor nebo přilehlou budovu (ae) a řídí se také rovnicí 2.8 [34]. Musí se tedy počítat s únikem tepla do nevytápěného sklepa a verandy (např. pro WC v tab. 2.7).

Tab. 2.7 Příklad výpočtu měrného tepelného  $H_{T,iae}$  toku pro WC.

Název části	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$U_k$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$f_{ia,k}$ [-]	$H_{T,ie}$ [W/K]
Nosná zeď	2,78	1,70	0,47	2,22
Okno	0,25	1,20	0,47	0,14
Podlaha	1,30	1,18	0,31	0,48
<b>Σ</b>				<b>2,84</b>

### Měrný tepelný tok $H_{T,iaBE}$ a $H_{T,iaBE}$ [W/K]

$H_{T,iaBE}$  vyjadřuje velikost měrného toku tepla z vytápěného prostoru (i) do sousední funkční části budovy (aBE) [34]. Žádná další funkční část budovy se v tomto případě nenachází, proto  $H_{T,iaBE} = 0$  W/K.

$H_{T,ig}$  určuje měrný tepelný tok prostupem do zeminy [34]. Z důvodu, že se zde nenachází žádné vytápěné místnosti přímo v kontaktu se zemí, je rovněž  $H_{T,ig} = 0$  W/K.

### 2.2.2 Celková tepelná ztráta prostupem

Tepelná ztráta prostupem celého domu se spočítá jako součet všech jednotlivých ztrát místností [34]. Celkovou hodnotu ukazuje tab. 2.8.

Tab. 2.8 Hodnoty celkové ztráty tepla prostupem.

Název místnosti	$H_{T,ie}$ [W/K]	$H_{T,ia}$ [W/K]	$H_{T,iae}$ [W/K]	$\theta_{int,i} - \theta_e$ [°C]	$\phi_{T,i}$ [W]
WC	0	0	2,84	32	90,88
Předsíň	0	0	3,13	32	100,16
Hala	3,28	0	3,86	32	228,48
Schodiště	1,15	0	9,44	32	338,88
Obývací pokoj	12,54	0	7,49	32	640,96
Ložnice	6,65	0	6,32	32	415,04
Koupelna	0	5,1	1,91	36	252,36
Kuchyň + jídelna	7,46	0	5,14	32	403,2
Chodba	0	0	0,87	32	27,84
Koupelna	3,88	4,93	1,62	36	375,48
Pokoj + šatna	11,21	0	4,21	32	493,44
Pokoj	18,62	0	0	32	595,84
<b>Σ</b>					<b>3962,56</b>

### 2.2.3 Tepelná ztráta větráním

Pro účely tohoto výpočtu byla zvolena metoda zjednodušená, která se používá pro budovy vzduchotěsné bez nuceného větrání a bez koncových vzduchotechnických zařízení. Toto kritérium platí veskrze pro všechny objekty určené pro bydlení. Pro dílčí vytápěný prostor se tato tepelná ztráta  $\phi_{V,i}$  vypočítá podle rov. 2.9 [34]. Hodnoty pro všechny prostory jsou pak shrnuty v tab. 2.10.

$$\phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_{v,min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (2.9)$$

kde je:

- $\phi_{V,i}$  ..... tepelná ztráta větráním místnosti (i) [W],  
 $\rho$  ..... hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě [kg/m<sup>3</sup>],  
 $c_p$  ..... měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě [Wh/(kg·K)],

$q_{v,min,i}$ .....	minimální objemový průtok vzduchu místnosti (i)	[W/(m <sup>2</sup> · K)],
$\theta_{int,i}$ .....	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i)	[°C],
$\theta_e$ .....	venkovní výpočtová teplota	[°C].

Pro použití této normy může být považována hustota vzduchu  $\rho$  a měrná tepelná kapacita vzduchu  $c_p$  za konstantní [34]. Jejich součin budu dále označovat jako konstantu  $\psi$  (rov. 2.10).

$$\psi = \rho \cdot c_p = 1,2 \cdot 0,28 = 0,34 \text{ [Wh/(m}^3 \cdot \text{K)]}. \quad (2.10)$$

Minimální objemový průtok vzduchu místnosti  $q_{v,min,i}$  [m<sup>3</sup>/h] závisí na nejmenší možné hodnotě intenzity větrání  $n_{min,i}$  [h<sup>-1</sup>] a objemu vzduchu místnosti  $V_i$  [m<sup>3</sup>] dle rov. 2.11 [34].

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i. \quad (2.11)$$

Hodnoty minimální intenzity větrání  $n_{min,i}$  pro různé typy místností jsou dány tab. 2.9.

Tab. 2.9 Hodnoty minimální intenzity větrání  $n_{min,i}$  [34].

Druh místnosti	$n_{min,i}$ [h <sup>-1</sup> ]
Trvale obývané, např. obývací pokoj, ložnice	0,5
Kuchyně, koupelný, záchody apod. (s okny)	0,5
Pomocné místnosti, vnitřní místnosti bez oken	0

Tab. 2.10 Hodnoty tepelných ztrát větráním  $\phi_{v,i}$ .

Název místnosti	$\psi$ [Wh/(m <sup>3</sup> · K)]	$n_{min,i}$ [h <sup>-1</sup> ]	$V_i$ [m <sup>3</sup> ]	$\theta_{int,i} - \theta_e$ [°C]	$\phi_{v,i}$ [W]
WC	0,34	0,5	3,4	32	18,50
Předsín	0,34	0,5	5,3	32	28,83
Hala	0,34	0,5	31,2	32	169,73
Schodiště	0,34	0	8,5	32	0
Obývací pokoj	0,34	0,5	54,0	32	293,76
Ložnice	0,34	0,5	45,6	32	248,06
Koupelna	0,34	0,5	13,3	36	153,22
Kuchyň + jídelna	0,34	0,5	37,1	32	379,90
Chodba	0,34	0	10,6	32	0
Koupelna	0,34	0,5	8,5	36	52,02
Pokoj + šatna	0,34	0,5	41,0	32	223,04
Pokoj	0,34	0,5	58,2	32	316,61
<b>Σ</b>					<b>1883,67</b>

## 2.2.4 Celkový tepelný výkon

Celkové tepelné ztráty objektu neboli návrhový tepelný výkon se vypočítá jako součet tepelných ztrát prostupem a větráním podle rov. 2.12 [34]. Výsledky ukazuje tab. 2.11.

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad (2.12)$$

Tab. 2.11 Celkové tepelné ztráty objektu.

Místnost	$\phi_{T,i}$ [W]	$\phi_{V,i}$ [W]	$\phi_{HL,i}$ [W]
WC	90,88	18,50	109,38
Předsíň	100,16	28,83	128,99
Hala	228,48	169,73	398,21
Schodiště	338,88	0	338,88
Obývací pokoj	640,96	293,76	934,72
Ložnice	415,04	248,06	663,10
Koupelna	252,36	153,22	405,58
Kuchyň + jídelna	403,20	379,90	783,10
Chodba	27,84	0	27,84
Koupelna	375,48	52,02	427,50
Pokoj + šatna	493,44	223,04	716,48
Pokoj	595,84	316,61	912,45
<b>Σ</b>			<b>5846,23</b>

## 2.3 Roční potřeba tepla pro vytápění

Pro dimenzování zdroje tepla je nutné znát celkovou roční potřebu tepla pro vytápění  $Q_{VYT,r}$ . Tuto hodnotu lze získat pomocí rov. 2.13 [36].

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \phi_{HL} \cdot D}{(\theta_{is} - \theta_e)} \quad (2.13)$$

kde je:

$Q_{VYT,r}$	.....	roční spotřeba tepla pro vytápění	[MWh/rok],
$\varepsilon$	.....	opravný součinitel	[-],
$\eta_o$	.....	účinnost obsluhy	[-],
$\eta_r$	.....	účinnost rozvodu vytápění	[-],
$\phi_{HL}$	.....	tepelná ztráta objektu	[kW],
$D$	.....	vytápěcí denostupně	[K· dny],
$\theta_{is}$	.....	průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C],
$\theta_e$	.....	venkovní výpočtová teplota	[°C].

Opravný součinitel  $\varepsilon$  a vytápěcí denostupně  $D$  jsou dále určeny pomocí rovnic 2.14 a 2.15 [36].

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d, \quad (2.14)$$

$$D = d \cdot (\theta_{is} - \theta_{e,m}). \quad (2.15)$$

Jednotlivé parametry jsou zvoleny podle tab. 2.12.

Tab. 2.12 Parametry pro výpočet spotřeby tepla vytápěním [36].

Parametr	Popis	Hodnota	Jednotka
$e_i$	Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem	0,85	[-]
$e_t$	Snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci	0,80	[-]
$e_d$	Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	1,00	[-]
$d$	Délka topného období	233	[den]
$\eta_0$	Účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy	0,95	[-]
$\eta_r$	Účinnost rozvodu vytápění	0,95	[-]
$\theta_{is}$	Průměrná vnitřní výpočtová teplota	19	[°C]
$\theta_{e,m}$	Průměrná venkovní teplota	3,6	[°C]

Po dosazení všech potřebných čísel do rov. 2.13 vychází:

$$Q_{VYT,r} = 12,2 \text{ MWh/rok},$$

$$Q_{VYT,r} \cdot 3,6 = 12,2 \cdot 3,6 = 43,92 \text{ GJ/rok}.$$

Celková roční potřeba energie na vytápění je tedy 12,2 MWh/rok, neboli 43,92 GJ/rok.



### 3 Ekonomické zhodnocení možností vytápění

#### 3.1 Volba zdroje tepla

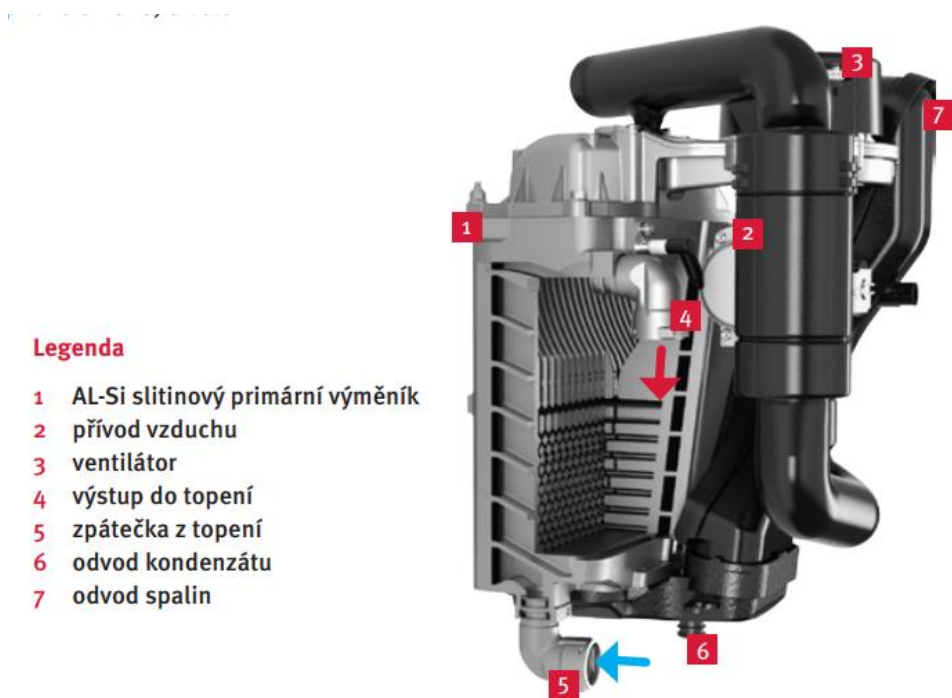
Za účelem ekonomického zhodnocení možností vytápění objektu jsou zvoleny čtyři zdroje tepla – plynový kotel, kotel na kusové dřevo, tepelné čerpadlo a elektrokotel. Jejich tepelný výkon se řídí podle návrhového tepelného výkonu vypočítaného v kapitole 2.2.4.

#### Plynový kotel Protherm Gepard Condens 12 MKO – A

Prvním zvoleným tepelným zdrojem je plynový kotel značky Protherm. Jedná se o kotel kondenzační s možností ohřevu TV v externím zásobníku spojeného pomocí trojcestného ventilu. Dovoluje plynulou modulaci výkonu a obsahuje digitální ovládání včetně autodiagnostiky [37]. Technické parametry jsou dále popsány v tab. 3.1 a schéma kotle je možné vidět na obr. 3.1.

Tab. 3.1 Technické parametry kotle Protherm Gepard Condens 12 MKO – A [37].

Parametr	Hodnota	Jednotka
Energetická třída	A	[-]
Min.-max. tepelný výkon OV/TV při tepelném spádu 80/60 °C	4 – 12 / 4 – 15	[kW]
Normovaný stupeň využití	108,5	[%]
Rozsah nastavení teploty OV	10 – 80	[°C]
Min. - max. provozní tlak	0,5 – 3	[bar]
Objem expanzní nádoby	8	[l]
Emisní třída NO <sub>x</sub>	5	[-]
Hmotnost	31	[kg]
Rozměry (výška, šířka, hloubka)	740 · 418 · 300	[mm]



Obr. 3.1 Plynový kotel Protherm [37].

### Kotel na dřevo OPOP H416 EKO-D

Jako druhý zdroj tepla pro vytápění domu je zvolen zplyňovací kotel na dřevo s ručním přikládáním od společnosti OPOP v provedení o tepelném výkonu 6kW, který se nachází na obr. 3.2. Kotel obsahuje elektronickou řídicí jednotku a je zde možnost přidání elektro spirály o výkonu 3 kW. Proti nebezpečí přehřátí slouží chladicí smyčka, pro efektivnější spalování je také použit odťahový ventilátor. Výrobce garantuje dlouhou životnost díky tloušťce plechu 5 mm [38]. Technické parametry pro tento kotel shrnuje tab. 3.2.

Tab. 3.2 Technické parametry kotle OPOP H416 EKO-D [38].

Parametr	Hodnota	Jednotka
Energetická třída	A+	[-]
Jmenovitý tepelný výkon	16	[kW]
Účinnost	90	[%]
Potřebný provozní tah	12	[Pa]
Objem vody	33	[l]
Spotřeba paliva	4,1	[kg/hod]
Rozsah teploty OV	65 – 85	[°C]
Emisní třída NO <sub>x</sub>	5	[-]
Hmotnost	265	[kg]
Rozměry (výška, šířka, hloubka)	964 · 1085 · 498	[mm]



Obr. 3.2 Kotel na dřevo OPOP [38].

### Tepelné čerpadlo Vaillant aroTHERM Split 75/5

Třetím zvoleným zdrojem tepla je tepelné čerpadlo typu vzduch – voda od společnosti Vaillant (na obr. 3.3), které dokáže jak vytápět a ohřívat vodu, tak i chladit. Je rozděleno na vnější a vnitřní jednotku a součástí je vestavěný zásobník a regulace VRC700, obojí již zahrnuto v ceně. Tepelné čerpadlo nabízí kompaktní konstrukci, samozřejmostí je možnost plynulé modulace výkonu. Výrobce také nabízí prodloužení záruky kompresoru až na 10 let [39]. Základní technické parametry ukazuje tab. 3.3.

Tab. 3.3 Technické parametry TČ Vaillant [39].

Parametr	Hodnota	Jednotka
Energetická třída (pro vytápění při 35 °C/ 55 °C)	A++	[-]
SCOP – průměrné klima, W35	4,56	[-]
COP – topný faktor (A7/W35 <sup>1</sup> – A2/W35)	4,68 – 3,68	[-]
Topný výkon (A7/W35 – A2/W35)	5,78 – 4,5	[kW]
El. příkon (A7/W35 – A2/W35)	1,26 – 1,23	[kW]
Typ chladiva	R410a	[-]
Množství chladiva	2,39	[kg]
Min. – max. vzdálenost mezi venk. a vnitř. jednotk.	3 – 25	[m]
Teplota výstupu, režim vytápění - TV	55 – 63	[°C]
Min. teplota vzduchu	-20	[°C]
Hmotnost	113	[kg]
Rozměry (výška, šířka, hloubka)	965 · 1100 · 450	[mm]



Obr. 3.3 Tepelné čerpadlo Vaillant VWL 85/3 aroTHERM [39].

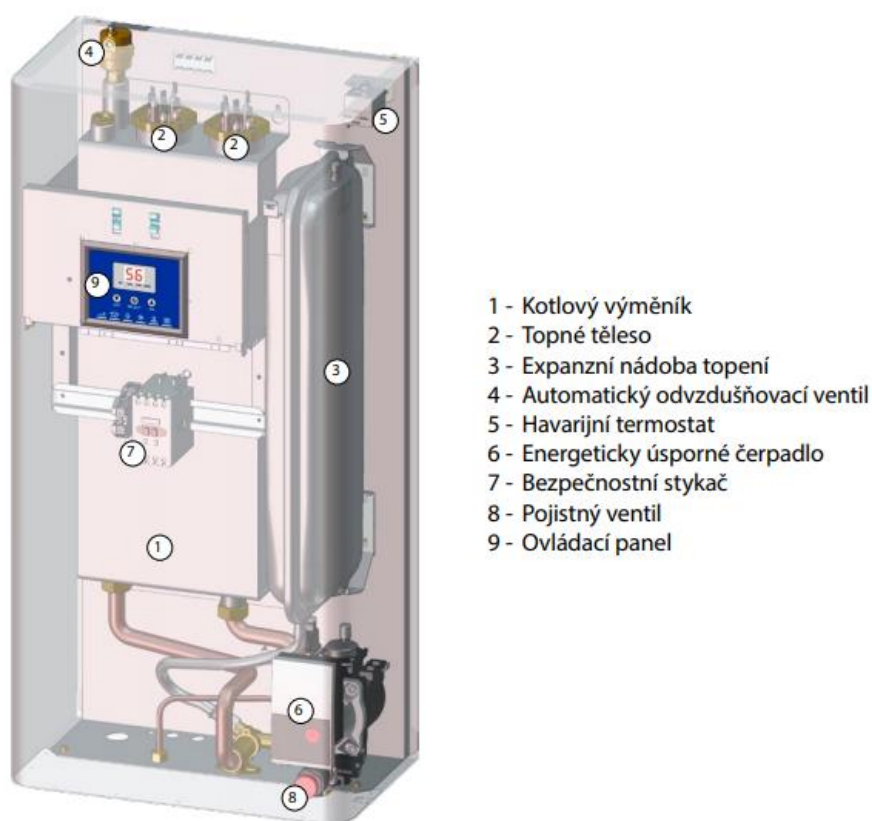
<sup>1</sup> Teplota venkovního vzduchu 7 °C a teplota topné vody 35 °C.

### Elektrokotel THERM ELN 8

Čtvrtým a posledním zvoleným zdrojem tepla pro vytápění rodinného domu je elektrokotel ELN 8 od společnosti THERM. Kromě vytápění tento kotel dovoluje ohřívání teplé vody v externím zásobníku. Minimální výkon začíná na hodnotě 2,5 kW a regulace je možná po kroku o velikosti 2,5 kW [40]. Technické parametry jsou shrnuty v tab. 3.4 a schéma kotle je možné vidět na obr. 3.4.

Tab. 3.4 Technické parametry elektrokotle THERM ELN 8 [40].

Parametr	Hodnota	Jednotka
Energetická účinnost	D	[-]
Účinnost	99,5	[%]
Jmenovitý tepelný výkon	7,5	[kW]
Jmenovitý proud (jednofázové připojení)	11 (33)	[A]
Min. – max. pracovní přetlak	0,5 – 3,0	[bar]
Maximální teplota otopné vody	80	[°C]
Vodní objem kotle	6,8	[l]
Objem expanzní nádoby	7	[l]
Hmotnost	31	[kg]
Rozměry (výška, šířka, hloubka)	805 · 400 · 235	[mm]



Obr. 3.4 Elektrokotel THERM ELN 8 [40].

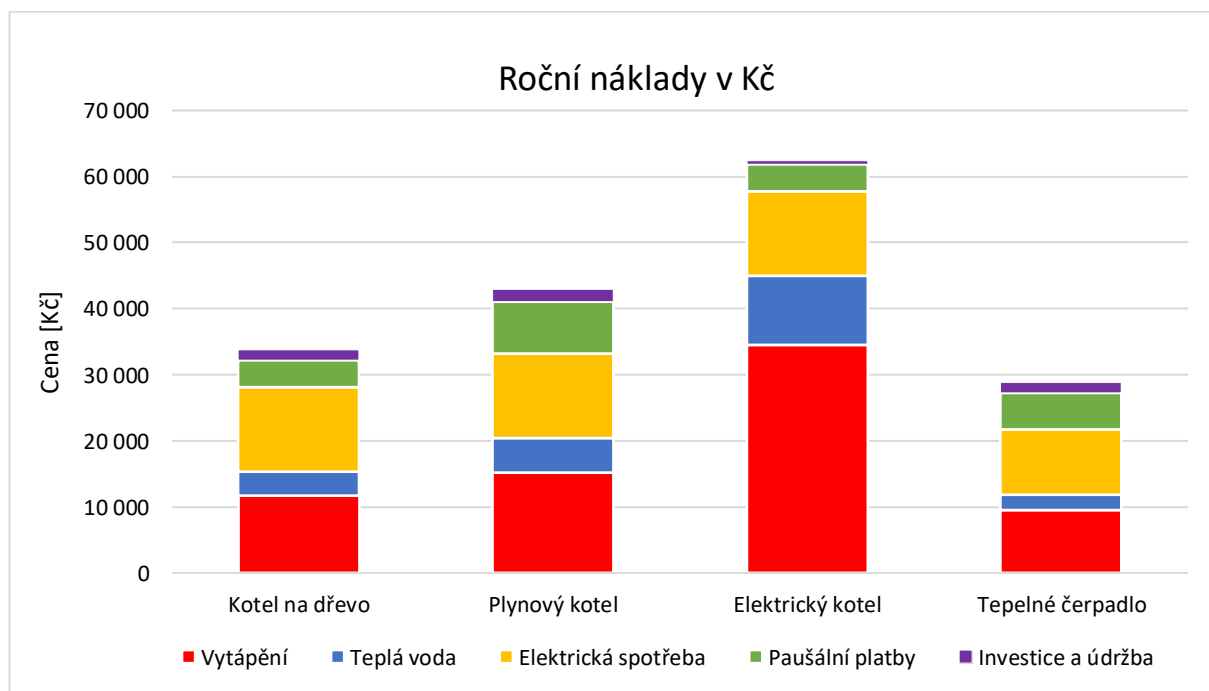
### 3.2 Porovnání nákladů na vytápění

V následující podkapitole proběhne srovnání nákladů na vytápění pro vybrané zdroje tepla z kapitoly 3.1. Pro tuto potřebu je využita online kalkulačka „Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii“ od portálu tzb-info.cz.

Hodnoty ročních nákladů se skládají z nákladů na vytápění, ohřev teplé vody, spotřeby elektrické energie bez vytápění, paušálních plateb za paliva a také z předpokládaných nákladů na údržbu a investici topného systému, jako je např. prohlídka komínu. Tyto náklady pro všechny čtyři zdroje tepla srovnává tab. 3.5 a ukazuje graf na obr. 3.5. Velikost potřebné energie na vytápění dosahuje hodnoty  $Q_{VYT,r} = 12,2 \text{ MWh/rok}$  (viz. kapitola 2.3). Hodnota energie potřebné na ohřev teplé vody byla pomocí online kalkulačky vypočítána na hodnotu 3,82 MWh/rok a je vztažena na 4 osoby, kde každá spotřebuje 50 l vody denně po celý rok [41]. Spotřeba elektrické energie pro ostatní spotřebiče je pak uvažována stejná jako za rok 2019/2020 a dosahuje velikosti 3,59 MWh/rok, kde dům obsahuje jistič 3x40 A a používá tarif D25d od distribuční sítě společnosti EG.D. Ten je určen pro domácnosti s nižší spotřebou elektřiny a vyznačuje se možností čerpání při nízkém tarifu až po 8 hodin. Jedinou výjimkou je použití tepelného čerpadla, kdy je uvažováno využití výhodnějšího tarifu D57d, který dovoluje čerpání elektřiny nízkým tarifem až 20 hodin denně. To se promítá na nižší nákladech ostatní elektrické spotřeby.

Tab. 3.5 Srovnání ročních nákladů pro vybrané zdroje tepla [41].

Roční náklady v Kč	Kotel na dřevo	Plynový kotel	Elektrokotel	Tepelné čerpadlo
Vytápění	11 699	15 149	34 459	9 535
Příprava TV	3 663	5 270	10 577	2 296
Elektrická spotřeba	12 787	12 787	12 787	9 882
Paušální platby	4 092	7 800	4 092	5 592
Investice a údržba	1 500	2 000	500	1 500
<b>Σ</b>	<b>33 741</b>	<b>43 006</b>	<b>62 415</b>	<b>28 805</b>



Obr. 3.5 Porovnání ročních nákladů pro zdroje tepla [41].

Palivem pro zplyňovací kotel na dřevo je uvažováno dřevo tvrdé s cenou 3,5 Kč/kg při roční spotřebě 4389 kg dřeva. Pro plynový kotel je pak palivem zemní plyn od distributora EG.D s cenou 1,26 Kč/kWh a roční spotřebou 1 541 m<sup>3</sup> nebo 16 256 kWh. Elektřina s distribučním tarifem D57d pro tepelné čerpadlo je naceněna 2,77 Kč/kWh pro nízký tarif a 3,05 Kč/kWh za vysoký tarif. Za rok je uvažována spotřeba 5 046 kWh. Elektrokotel s tarifem D25d má sazbu 2,63 Kč/kWh za nízký tarif a 4,9 Kč/kWh za vysoký tarif při celkové spotřebě 17 120 kWh za rok.

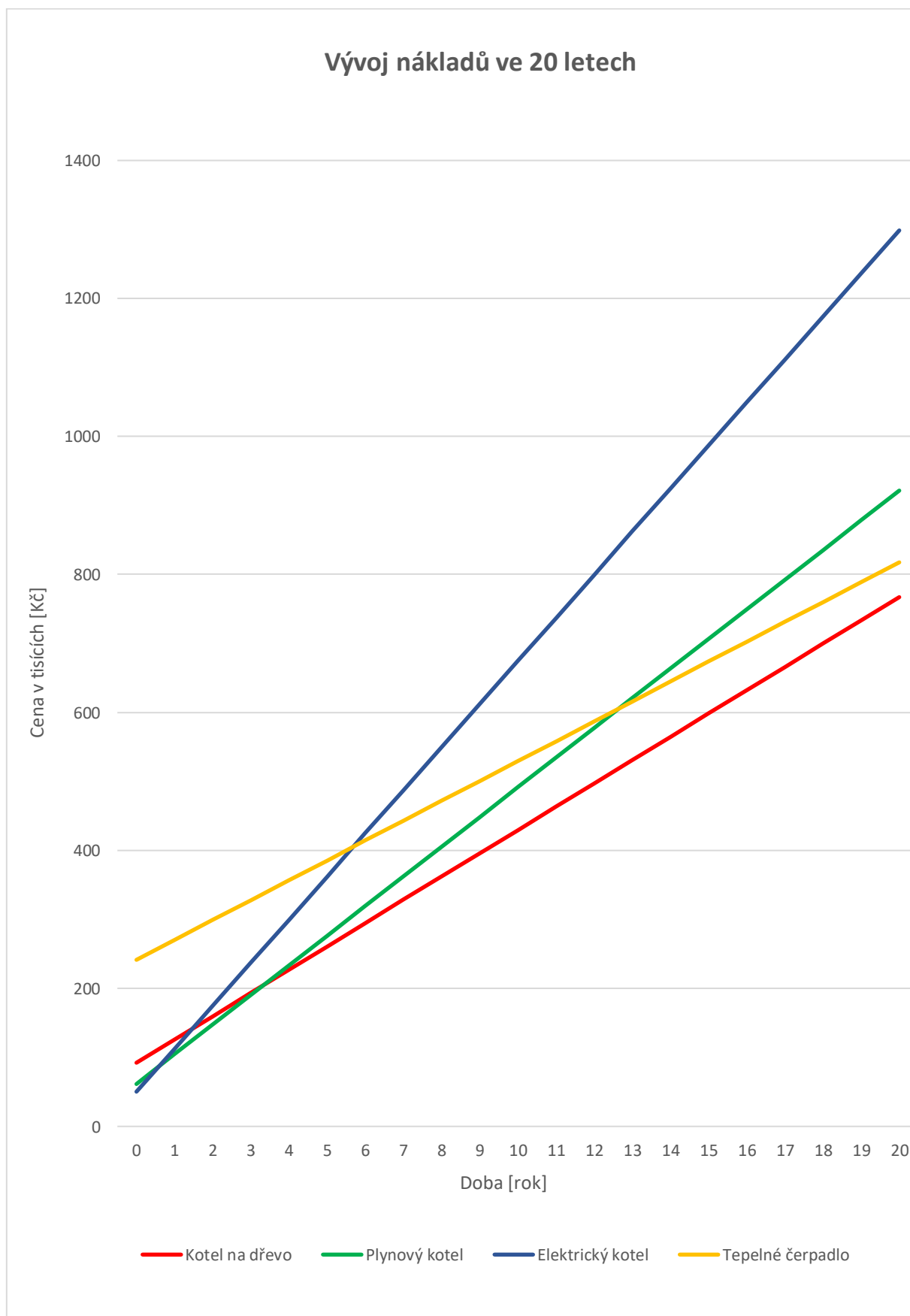
Do pořizovacích cen je započítána samotná cena zařízení, ale nesmí být opomenuty nezbytné další náklady pro uvedení do provozu spolu se zajištěním správného chodu. V součtu tvoří kompletní vstupní náklady tepelného zdroje.

Pro kotel na dřevo, elektrický a plynový kotel je do dalších nákladů započítána částka za práci při zprovoznění zařízení servisním technikem spolu s dopravou v hodnotě 15 000 Kč. Je také přičtena částka 20 000 Kč za pokojové termostaty, směšovací ventily, čerpadla, armatury a další spojovací materiály. Tepelné čerpadlo značky Vaillant je mnohem komplikovanější pro uvedení do provozu a proto má oproti ostatním zdrojům tepla další náklady vyšší. Za materiál je uvažována částka 27 000 Kč a za práci s dopravou 30 000 Kč [42]. Oproti ostatním kotel na dřevo značky OPOP pro své fungování potřebuje akumulární nádobu. Ta je proto připočítána do jeho dalších nákladů, kdy vybraná nádoba má objem 1 000 litrů a stojí 19 000 Kč. Výše zmíněné náklady spolu s pořizovací cenou jsou shrnuty v tab. 3.6. Výška uvedených částek byla zjištěna přímo u výrobců nebo u firem poskytující instalátérské služby.

Tab. 3.6 Vstupní náklady zdrojů tepla [42] [43] [44] [45].

Vstupní nákl. v Kč	Kotel na dřevo	Plynový kotel	Elektrokotel	Tepelné čerpadlo
Pořizovací cena	38 247	26 398	15 325	184 404
Další náklady	54 000	35 000	35 000	57 000
<b>Σ</b>	<b>92 247</b>	<b>61 398</b>	<b>50 325</b>	<b>241 404</b>

Graf na obr. 3.6 ukazuje vývoj nákladů za 20 let. Nultý rok začíná na vstupních nákladech tepelného zdroje (pořizovací cena v součtu s dalšími náklady) a každým dalším rokem se cena zvyšuje o vypočítané roční náklady (tab. 3.5). Z grafu je patrné, že ač je elektrokotel nejlevnější na pořízení, už po zhruba pěti a půl letech se náklady vyšplhají na nejvyšší hodnotu ze srovnávaných a dále rostou nejvíce. Naopak křivka nejdražšího tepelného čerpadla roste daleko pomaleji a jeho náklady jsou mezi 12. a 13. rokem menší než náklady plynového kotle. Otázkou ale zůstává, zdali takovou dobu vydrží nejvíce poruchový kompresor, který má od výrobce záruku maximálně 10 let. Ze srovnání vychází nejlépe kotel na dřevo, jehož vstupní náklady jsou sice dražší než u plynového a elektrického kotle, ale roční náklady jsou relativně nízké a proto se křivka vývoje nákladů drží už po třech a půl letech nejnižší. Pohodlí ručního přikládání však není velké a s ostatními zdroji nelze porovnávat. Proto se dobrým kompromisem může stát kotel plynový, jehož pořizovací náklady jsou velice vlídné. Roční náklady jsou sice druhé nejdražší mezi srovnávanými, avšak pomineme-li nekomfortní kotel na dřevo tak je z grafu patrné, že do třinácti let od pořízení se jedná o nejlepší volbu.



Obr. 3.6 Vývoj nákladů ve 20 letech.



## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se dělí na dvě části, teoretickou a praktickou. Cílem bloku teoretického, nacházejícího se v první kapitole, bylo představit hlavní možnosti zdrojů vytápění pro rodinný dům. Část praktická je pak rozdělena do kapitol dvou, kde druhá kapitola obsahuje postup výpočtu tepelných ztrát zvoleného objektu a navazující třetí kapitola srovnává čtyři možné zdroje vytápění po ekonomické stránce.

První teoretická kapitola ukazuje různé možnosti zdrojů tepla pro rodinný dům. Pozornost byla prvně věnována kotlům na tuhá paliva, jejich rozdělením a krátce je i zmíněn rozbor tuhých paliv – biomasy a uhlí. Dále jsou rozebrány kotle plynové a vysvětleny rozdíly mezi spalným teplem a výhřevností plynu, což s moderními kondenzačními kotly úzce souvisí. V poslední části jsou popsány možné způsoby elektrické vytápění, včetně často používaných alternativních zdrojů tepla, do nich se řadí tepelná čerpadla nebo solární vytápění.

Cílem druhé kapitoly bylo určit tepelné ztráty a tím i návrhový tepelný výkon zdroje tepla. Pro účel byl zvolen přízemní rodinný dům v Uherském Hradišti, s obytným podkrovím a celkově podsklepený, který má obsah vytápěných ploch zhruba 160 m<sup>2</sup>. Samotný postup výpočtu se řídil českou technickou normou ČSN EN 12831-1. Všechny důležité parametry jako velikosti jednotlivých místností nebo tloušťka a materiál stěn, byly získány z výkresové dokumentace obsažené v příloze. Jako první byla určena tepelná ztráta prostupem a poté tepelná ztráta větráním. Jejich součtem vznikla celková tepelná ztráta domu činící 5,85 kW. Tato relativně nízká hodnota ukázala, že dům díky své kompaktnosti a zateplení 14 cm EPS vede k efektivnímu zadržování tepla. Výsledek posloužil nejen k možnosti dimenzování ideálního zdroje tepla pro uvažovaný objekt, ale také pro výpočet celkové roční spotřeby energie na vytápění, jež dosahuje 12,2 MWh neboli 43,92 GJ.

Ve třetí a poslední kapitole proběhl návrh ideálního zdroje tepla pro zvolený objekt. S využitím vypočtených tepelných ztrát objektu v druhé kapitole byly s vhodným tepelným výkonem vybrány tyto zdroje tepla: plynový kotel Protherm Gepard Condens 12 MKO – A, kotel na dřevo OPOP H416 EKO-D, tepelné čerpadlo Vaillant aroTHERM Split 75/5 a elektrokotel THERM ELN 8. Díky online kalkulačce, dostupné na webu tzb-info.cz byla pro každý zvolený zdroj vypočítána výše ročních nákladů, skládajících se z nákladů na vytápění, přípravy teplé vody, vedlejší elektrické spotřeby, paušálních plateb za paliva a nebyla opomenuta také cena nutných investic a údržby. Pro přehledné srovnání všech čtyř vybraných zdrojů po ekonomické stránce posloužil graf na obr. 3.6, který vyobrazil vývoj celkové ceny nákladů za 20 let. Z tohoto srovnání vyplynulo, že se po ekonomické stránce nejvíce vyplatí použití kotle na dřevo, jenž je ale uživatelsky nepohodlný kvůli nutnému ručnímu přikládání. Od zhruba třetího do třináctého roku od pořízení je hned po kotli na dřevo nejvýhodnější plynový kotel. Ten se tak stává díky pohodlnosti obsluhy a poměrně nízkou pořizovací cenou nejlepším kompromisem a zvolil bych právě tento zdroj tepla. V porovnání s tepelným čerpadlem má sice vyšší roční náklady zhruba o 14 000 Kč, avšak počáteční investice do čerpadla je čtyřikrát větší. Proto tepelné čerpadlo překoná v návratnosti investice plynový kotel až po zhruba třinácti letech. Nelze ale s tak velkou mírou jako u plynového kotle zaručit, že čerpadlo bude fungovat stále bez nutnosti oprav náchylných součástí čerpadla, jako může být např. kompresor. Nepříjatelným zdrojem tepla pro uvažovaný rodinný dům se stal elektrický kotel. Jeho vstupní náklady jsou sice nejnižší ze srovnávaných, naopak roční náklady se ale vyšplhaly na nejvyšší příčku. To způsobuje, že křivka vývoje nákladů stoupá nejvíce a proto se už zhruba po šesti a půl letech stává nejméně výhodným zdrojem tepla po ekonomické stránce.



## **SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] Vytápění rodinného domu – výhody a nevýhody jednotlivých zdrojů tepla. In: chytře-bydlení.cz. Dostupné z: <http://www.chytře-bydlení.cz/vytapeni-rodinneho-domu-vyhody-a-nevyhody-jednotlivych-zdroju-tepla>
- [2] LYČKA, Zdeněk. Jak vybírat nový kotel na pevná paliva. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>
- [3] Uhlí. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%AD>
- [4] DOPŘEJTE SVÉMU KOTLI KVALITNÍ UHLÍ. JAKÉ TO JE? PORADÍME VÁM S JEHO VÝBĚREM. In: topmeuhlim.cz. Dostupné z: <https://www.topmeuhlim.cz/doprejte-svemu-kotli-kvalitni-uhli-poradime-s-jeho-vyberem/>
- [5] Hnědé uhlí ořech 2 Bílina [obrázek]. In: uhlobaron.cz. Dostupné z: <https://www.uhlobaron.cz/volne-lozene-uhli/hnede-uhli/hnede-uhli-orech-2-bilina-33>
- [6] Úvodem o koksu. In: koksovny.cz. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/uvodem-o-koksu>
- [7] Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapeni-podle-druhu-paliva>
- [8] STUPAVSKÝ, Vladimír. O vytápění biomasou od A až po Z. In: oze.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/8814-o-vytapeni-biomasou-od-a-az-do-z>
- [9] Herz: Kusové dřevo. In: instop.eu. Dostupné z: <https://www.instop.eu/cs/kotle-herz/>
- [10] Pelety. In: ceska-peleta.cz. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/palivo/pelety/>
- [11] Vytápění briketami. In: ceska-peleta.cz. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/vytapeni/vytapeni-briketami/>
- [12] Jaké jsou výhody a nevýhody plynového vytápění? In: dumkotlu.cz. Dostupné z: <https://dumkotlu.cz/jake-jsou-vyhody-a-nevyhody-plynoveho-vytapeni/>
- [13] Vytápíme plynem. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem>
- [14] Jak vybrat plynový kotel? In: viessmann.cz. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-vybrat-plynovy-kotel.html>
- [15] Zdraví & Ekologie. In: zemniplyn.cz. Dostupné z: <https://www.zemniplyn.cz/chci-topit/zdravi-ekologie>
- [16] ZACHARIÁŠ. Zdroje tepla na plyn. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/4048-zdroje-tepla-na-plyn>
- [17] Kondenzační kotel: Zjistěte, jak funguje. In: plyn.cz. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/kondenzacni-kotel-zjistete-jak-funguje>

- [18] FUČÍK, Zdeněk. Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [19] Kdy se vyplatí vytápět elektrokotlem. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-elektroinou/16772-kdy-se-vyplati-vytapet-elektrokotlem>
- [20] Přednosti elektrického vytápění. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-elektroinou/306-prednosti-elektrickeho-vytapeni>
- [21] Legislativa. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-elektroinou/307-legislativa>
- [22] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov. In: vytapeni.tzb-info.cz. 2020, ročník 2020, částka 98, číslo 264. Dostupné také z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-264-2020-sb-o-energeticke-narocnosti-budov>
- [23] Varianty elektrického vytápění. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-elektroinou/304-varianty-elektrickeho-vytapeni>
- [24] KLASICKÝ NÁSTĚNNÝ ELEKTRICKÝ KONVEKTOR ECOFLEX TAC 20. [obrázek] In: hydrostop.cz. Dostupné z: <https://www.hydrostop.cz/eshop/klasicky-nastenny-elektricky-konvektor-ecoflex-tac-20/pro301.html>
- [25] Základy podlahového vytápění a chlazení. Část 7. Elektrické podlahové vytápění a jeho části. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/podlahove-vytapeni/19379-zaklady-podlahoveho-vytapeni-a-chlazení-cast-7-elektricke-podlahove-vytapeni-a-jeho-casti>
- [26] Tepelná čerpadla. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [27] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého (I). In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/953-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-i>
- [28] LACHNIT, Petr. Tepelné čerpadlo: Jak funguje? [obrázek] In: estav.cz. <https://www.estav.cz/cz/3184.tepelne-cerpadlo-jak-funguje>
- [29] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého (II) - druhy podle zdroje tepla. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/957-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-ii>
- [30] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého (III) - výkon, spotřeba elektřiny a topný factor. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/969-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-iii>
- [31] MATUŠKA, Tomáš. Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [32] MATUŠKA, Tomáš. Solární vytápění. In: oze.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/142-solarni-vytapeni>

- [33] Solární vytápění – přímé topení energií slunce. In: topeni.topenari.eu. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/>
- [34] ČSN EN 12831-1: Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu: Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. Září 2018. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [35] Prostup tepla stavební konstrukcí. In: stavba.tzn-info.cz. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci>
- [36] REINBERK, Zdeněk. Výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné také z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>
- [37] Kondenzační kotel Gepard Condens. In: protherm.cz. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/pro-nase-zakazniky/produkty/kondenzacni-kotel-gepard-condens-4420.html>
- [38] Kotel na dřevo H4EKO-D s ručním přikládáním. In: opop.cz. Dostupné z: <https://www.opop.cz/kotel-na-drevo-h4eko-d>
- [39] Tepelné čerpadlo aroTHERM Split 3-12 kW. In: vaillant.cz. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/tepelne-cerpadlo-arotherm-split-3-12-kw-32896.html>
- [40] THERM ELN 8. In: thermona.cz. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/elektrokotle/elektrokotle-ekonomicka-rada/kotel-therm-eln-8>
- [41] Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii - TZB-info. In: vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné také z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapeni-teplou-vodu-a-elektrickou-energii-tzb-info>
- [42] Online kalkulačka. In: topite.cz. Dostupné z: <https://www.topite.cz/online/kalkulacka?state=chci>
- [43] OPOP H416 EKO-D Kotel na tuhá paliva. In: topenilevne.cz. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/opop-h416-eko-d-p64683/>
- [44] Thermona THERM ELN 8 Elektrokotel. In: topenilevne.cz. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/thermona-therm-eln-8-p51320/>
- [45] Protherm Gepard Condens 12 MKO -A Kotel kondezační. In: topenilevne.cz. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/protherm-gepard-condens-12-mko-a-p42921/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
$A_k$	Plocha stavební části	$m^2$
COP	Topný faktor	-
$c_p$	Měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	Wh/(kg·K)
$d$	Délka otopného období	den
$D$	Vytápěcí denostupně	K·dny
$d_m$	Tloušťka vrstvy materiálu	m
$e_d$	Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	-
$e_i$	Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem	-
$e_i$	Snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci	-
$f_1$	Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí a venkovní výpočtovou teplotou	-
$f_2$	Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru a průměrnou povrchovou teplotou stavební části	-
$f_{ix,k}$	Teplotní opravný činitel	-
$f_{U,k}$	Opravný činitel zohledňující vliv vlastností	-
$H_i$	Výhřevnost plynu	kWh/m <sup>3</sup>
$H_s$	Spalné teplo plynu	kWh/m <sup>3</sup>
$H_{T,ia}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedního vytápěného prostoru	W/K
$H_{T,iaBE}$	Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do sousední funkční části budovy	W/K
$H_{T,iae}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes sousední nevytápěný prostor nebo přilehlou budovu	W/K
$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	W/K
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok prostupem do zeminy	W/K
$n_{min,i}$	Minimální hodnota intenzity větrání	$h^{-1}$
$P_{aUX}$	Elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku kondenzátoru, odtávání výparníku a vlastní regulaci tepelného čerpadla	kW
$P_C$	Elektrický příkon kompresoru	kW
$q_{v,min,i}$	Minimální objemový průtok vzduchu místnosti	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$Q_{VYT,r}$	Roční potřeba tepla pro vytápění	MWh/rok
$R$	Odpor přestupu tepla	(m <sup>2</sup> ·K)/W
$R_{se}$	Odpor přestupu tepla na vnější straně konstrukce	(m <sup>2</sup> ·K)/W

$R_{si}$	Odpor přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$(m^2 \cdot K)/W$
$R_T$	Celkový odpor přestupu tepla	$(m^2 \cdot K)/W$
$U$	Součinitel prostupu tepla	$W/(m^2 \cdot K)$
$U_k$	Součinitel prostupu tepla stavební části	$W/(m^2 \cdot K)$
$V_i$	Objem místnosti	$m^3$
$\Delta U_{TB}$	Přirážka na vliv tepelných vazeb	$W/(m^2 \cdot K)$
$\varepsilon$	Opravný součinitel	-
$\eta_0$	Účinnost obsluhy	-
$\eta_r$	Účinnost rozvodu vytápění	-
$\theta_{int,k}^*$	Průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části	$^{\circ}C$
$\theta_e$	Venkovní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
$\theta_{e,m}$	Průměrná venkovní teplota	$^{\circ}C$
$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota místnosti	$^{\circ}C$
$\theta_{is}$	Průměrná vnitřní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
$\theta_x$	Teplota sousedního prostoru nebo prostředí	$^{\circ}C$
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	$W/(m \cdot K)$
$\rho$	Hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	$kg/m^3$
$\Phi$	Tepelný výkon tepelného čerpadla	$kW$
$\phi_{HL}$	Tepelná ztráta objektu	$kW$
$\phi_{HL,i}$	Návrhový tepelný výkon místnosti	$W$
$\phi_{T,i}$	Tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	$W$
$\phi_{V,i}$	Tepelná ztráta větráním místnosti	$W$
$\psi$	Konstanta součinu hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu	$Wh/(m^3 \cdot K)$

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Prohořivací a odhořivací kotel [2].....	12
Obr. 1.2 Zplyňovací a automatický kotel [2] .....	12
Obr. 1.3 Černé uhlí [4].....	13
Obr. 1.4 Hnědé uhlí [5].....	13
Obr. 1.5 Srovnání výhřevností dřeva [9] .....	14
Obr. 1.6 Dřevěné pelety [10].....	15
Obr. 1.7 Dřevěné brikety [8] .....	15
Obr. 1.8 Schéma kondenzačního kotle [14] .....	16
Obr. 1.9 Využití energie nízkoteplotního a kondenzačního kotle [18].....	17
Obr. 1.10 Přímotopný konvektor [24] .....	19
Obr. 1.11 Podlahové topné rohože [25].....	19
Obr. 1.12 Schéma tepelného čerpadla [28] .....	20
Obr. 1.13 TČ vzduch - voda [29] .....	20
Obr. 1.14 TČ země - voda [29] .....	21
Obr. 1.15 TČ voda - voda [29] .....	21
Obr. 1.16 Kapalinové solární vytápění [33] .....	22
Obr. 1.17 Teplovzdušné solární vytápění [33].....	23
Obr. 1.18 Fotovoltaické solární vytápění [33] .....	23
Obr. 2.1 Zvolený dům pro výpočet.....	24
Obr. 3.1 Plynový kotel Protherm [37] .....	33
Obr. 3.2 Kotel na dřevo OPOP [38].....	34
Obr. 3.3 Tepelné čerpadlo Vaillant VWL 85/3 aroTHERM [39] .....	35
Obr. 3.4 Elektrokotel THERM ELN 8 [40].....	36
Obr. 3.5 Porovnání ročních nákladů pro zdroje tepla [41].....	37
Obr. 3.6 Vývoj nákladů ve 20 letech .....	39

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Účinnost kotlů na tuhé paliva [2] .....	13
Tab. 1.2 Srovnání uhelných paliv [7].....	13
Tab. 1.3 Srovnání dřevěných paliv [7].....	15
Tab. 1.4 Srovnání vzniku škodlivin spalováním v mg/MJ [15] .....	16
Tab. 1.5 Faktory primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [22].....	18
Tab. 2.1 Základní parametry objektu .....	25
Tab. 2.2 Výpočet součinitele prostupu tepla U pro podlahu (přízemí).....	25
Tab. 2.3 Hodnoty součinitele prostupu tepla U .....	26
Tab. 2.4 Klimatické podmínky [34].....	26
Tab. 2.5 Příklad výpočtu měrného tepelného toku $H_{T,ie}$ pro ložnici .....	28
Tab. 2.6 Příklad výpočtu měrného tepelného toku $H_{T,ia}$ koupelnou (přízemí).....	28
Tab. 2.7 Příklad výpočtu měrného tepelného $H_{T,iae}$ toku pro WC .....	28
Tab. 2.8 Hodnoty celkové ztráty tepla prostupem .....	29
Tab. 2.9 Hodnoty minimální intenzity větrání $n_{min,i}$ [34] .....	30
Tab. 2.10 Hodnoty tepelných ztrát větráním $\phi_{v,i}$ .....	30
Tab. 2.11 Celkové tepelné ztráty objektu .....	31
Tab. 2.12 Parametry pro výpočet spotřeby tepla vytápěním [36] .....	32
Tab. 3.1 Technické parametry kotle Protherm Gepard Condens 12 MKO – A [37] .....	33
Tab. 3.2 Technické parametry kotle OPOP H416 EKO-D [38].....	34
Tab. 3.3 Technické parametry TČ Vaillant [39] .....	35
Tab. 3.4 Technické parametry elektrokotle THERM ELN 8 [40] .....	36
Tab. 3.5 Srovnání ročních nákladů pro vybrané zdroje tepla [41].....	37
Tab. 3.6 Vstupní náklady zdrojů tepla [42] [43] [44] [45] .....	38

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A

Příloha B